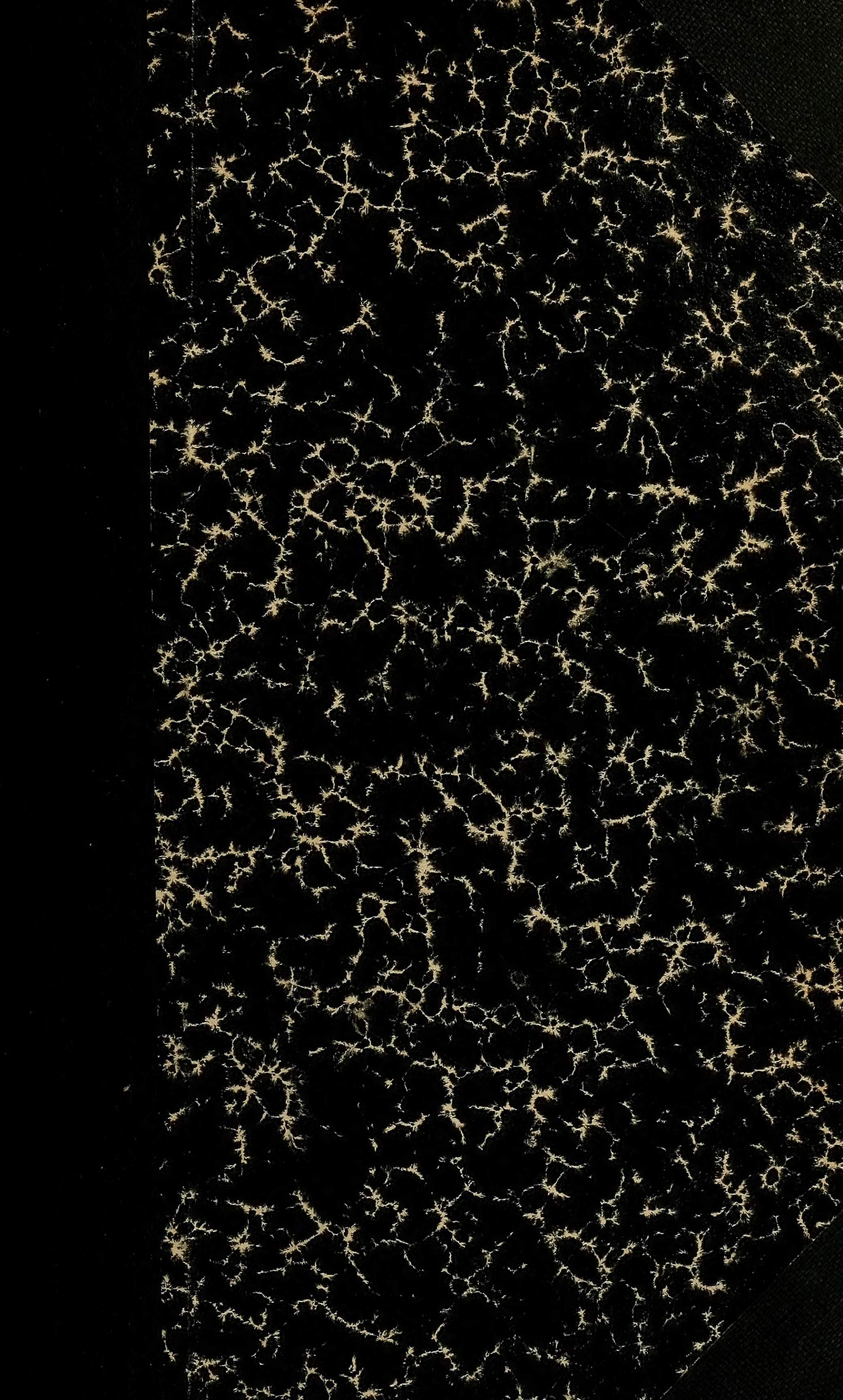
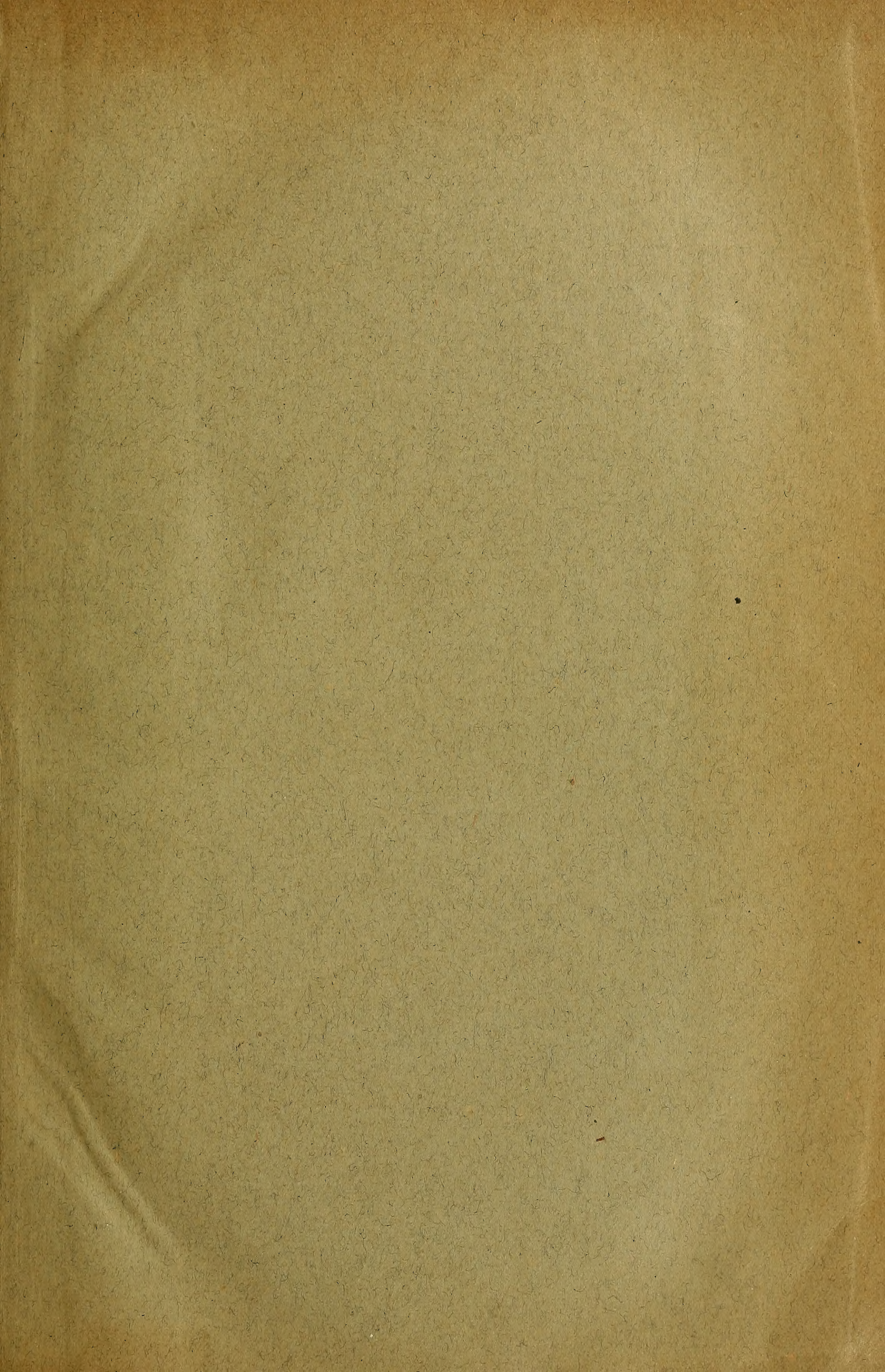






ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILHELM VON WALDEYER-HARTZ,
PROFESSOR DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

UND

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1916.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1917

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

JAHRGANG 1916.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1917



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig

Inhalt.

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1916.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT VIER FIGUREN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1917

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.



Inhalt.

Seite

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 ℳ Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge sind an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden. — Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom Manuskript getrennten Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, unter Berücksichtigung der Formatverhältnisse des Archives, eine Zusammenstellung, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizulegen.

Die Wirbelsäule des Cercocebus fuliginosus.

Von

Hans Virchow
in Berlin.

Mit 4 Figuren im Text.

Einleitung. — Skelett und Muskulatur gehören für die mechanische Betrachtung zusammen, erklären sich gegenseitig. Deshalb mußte ich in einer vorausgehenden Arbeit, welche sich mit den Rückenmuskeln des Erythrocebus patas beschäftigte[1], das Skelett so weit in Betracht ziehen, als es für das Verständnis der Muskelansätze notwendig war. Es ist jedoch auch umgekehrt durch dieses Studium der Muskulatur Interesse und Verständnis bei mir gewachsen für die Wirbelsäule der Catarrhinen, von welchen ich zufällig Cercocebus fuliginosus kurz zuvor untersucht hatte.

Zum Vergleiche benutzte ich die Wirbelsäule eines Togonegers, diejenigen von drei Australiern, zwei Schimpansen, je eine vom Gorilla und Orang, abgesehen von einer größeren Anzahl von Europäern.

Es ist jedoch nicht meine Absicht, hieraus eine eingehende vergleichend morphologische Studie zu machen, sondern ich will, wie die ersten Worte dieser Einleitung andeuten, bei denjenigen Merkmalen bleiben, welche sich bei der Präparation der Muskulatur am Affenrücken als beachtenswert herausgestellt haben. Darunter befindet sich jedoch eine ganze Anzahl von Punkten, welche auch für die menschliche Wirbelsäule wichtig sind und an dieser bisher teils gar nicht, teils nicht genügend Beachtung gefunden haben. Ich glaube daher auch zur Bereicherung derjenigen Gesichtspunkte beitragen zu können, welche für die Anthropologie von Wichtigkeit sind.

---

[1] *Dies Archiv.* 1916. Anat. Abtlg. S. 1.

Material. — Der untersuchte Cercocebus fuliginosus war ein weib liches Tier, welches im Berliner Zoologischen Garten im November 1915 an Verblutung infolge Verletzung gestorben war. Nach dem Macerieren zeigte sich, daß die Wirbelkörperepiphysen im Brustteil und Lendenteil noch lose, diejenigen an den Halswirbeln zwar angewachsen, aber noch nicht mit den Körpern verschmolzen, diejenigen an den Schwanzwirbeln nicht nur angewachsen, sondern auch mit den Körpern vollkommen verschmolzen waren. Obwohl nach diesem Befunde das Tier als „jugendlich“ gelten muß, so hatte es doch schon ein Junges, letzteres von etwa drei Viertel Körperlänge der Mutter und mit vollständigem Milchgebiß, sodaß das Muttertier als „erwachsen“ angesehen werden darf.

Eigenform der Wirbelsäule.

(Fig. 1.)

Begriff. — Ich verstehe unter Eigenform der Wirbelsäule diejenige Form, welche eine Wirbelsäule hat, wenn sie, von Muskeln, Rippen und Kopf befreit, sich selbst überlassen ist, also die Resultante der in ihr selbst steckenden mechanischen Kräfte.

Was die Eigenform ist und bedeutet, tritt noch schärfer hervor, wenn man dagegenstellt, was sie nicht ist. Sie ist nicht die „natürliche“ Haltung und ebensowenig die „normale“ Haltung; zwei Begriffe, mit denen in früherer Zeit so viel Unfug getrieben worden ist. „Natürliche Haltung“ ist eine Haltung des Lebenden, welche bei jedem Menschen — um von diesem zu sprechen — verschieden ist, denn dem einen ist dieses, dem anderen jenes „natürlich“. „Normale Haltung“ oder „Normalhaltung“ ist auch eine Haltung des Lebenden, aber gar keine wirkliche, sondern eine gedachte, aus einer Theorie abgeleitete Haltung und als solche kein Gegenstand der empirischen Forschung.

Die Eigenform dagegen ist etwas Wirkliches, Greifbares, Untersuchbares. Sie ist, wie gesagt, diejenige Form, welche die Wirbelsäule annimmt, wenn sie allen auf sie einwirkenden „äußeren“ Faktoren entzogen ist. Freilich findet sich ein fremder Einfluß, den man nicht wohl ausschalten kann: die Schwere. Ihr könnte man die Wirbelsäule nur entziehen, indem man diese in ein Medium von gleichem spezifischen Gewicht versetzen würde, welches aber die Eigenschaft haben müßte, die Bandapparate weder zum Quellen, noch zum Schrumpfen zu bringen. Einstweilen besteht aber für derartige physikalische Feinheiten noch keine Nötigung; wir kommen für unsere Zwecke ohne sie aus. Wir halten die auf ihre Eigenform zu untersuchende Wirbelsäule nicht senkrecht, sondern

legen sie seitwärts flach hin, wobei wir uns aber darüber klar sind, daß sie durch die Schwere an die Unterlage angedrückt wird, und daß infolgedessen die Möglichkeit denkbar ist, falls die Wirbelsäule sehr weich, in ihren Bandapparaten sehr nachgiebig ist, daß durch die Reibung an der Unterlage die Annahme einer Eigenform unmöglich gemacht wird.

Das letztere habe ich tatsächlich bei einem Tiere angetroffen, nämlich beim Seelöwen (Zalofus californianus), von welchem ich zwei Exemplare zu untersuchen Gelegenheit gehabt habe.

Für gewöhnlich ist aber etwas Derartiges nicht zu befürchten, sind vielmehr die Spannungen innerhalb der Säule so groß, daß die schädliche Reibung hinreichend überwunden wird, besonders wenn man vor dem Abformen die einzelnen Abschnitte der Säule noch etwas anlüftet.

Man wird aber vielleicht sagen: Was haben wir denn von der Eigenform, wenn sie doch keine Haltung des Lebenden ist, und wenn sie nach der anderen Seite hin auch wieder kein „Element" für die Betrachtung darstellt?

Es ist wahr, daß die Elemente der Wirbelsäulenmechanik erst in den Formen und Kräften der einzelnen Knochen, Bandscheiben und Bänder gegeben sind, und daß wir bis auf diese heruntergehen müssen, wenn wir den mechanischen Aufbau nachrechnen wollen. Aber die Kenntnis der Eigenform behält trotzdem ihren Wert. Sie ist eine Zwischenstation auf dem Wege von den Elementen bis zur Haltung des Lebenden. Fassen wir festen Fuß auf dieser Zwischenstation, so können wir von da schon ausblicken in der Richtung auf das Endziel und prüfen, ob nicht schon in den Eigenformen der Wirbelsäulen der verschiedenen Säugetierfamilien sich bis zu einem gewissen Grade die Haltungen vorgezeichnet finden, welche im Leben diese Familien von anderen Familien unterscheiden.

Das ist in der Tat der Fall.

Diese vergleichende Betrachtung soll aber hier nicht angestellt werden. Ich will mich vielmehr auf ein Objekt, die Wirbelsäule des Cercocebus, beschränken.

Ich lege in Fig. 1 ein Bild der Eigenform vor, wobei ich mein Bedauern ausdrücke, daß dies in so kleinem Maßstabe und infolgedessen wenig wirksamer Form geschehen muß.

Ich füge eine mit Hilfe des Kraniographen angefertigte Projektionszeichnung hinzu (Fig. 2), welche durch lineare Analyse die Auffassung der ersten Figur unterstützt.

Gehen wir diese Figuren durch.

Der Halsteil ist so stark nach hinten übergebogen, daß sein oberes Ende nicht nur rechtwinklig zur Hauptrichtung, sondern sogar noch etwas

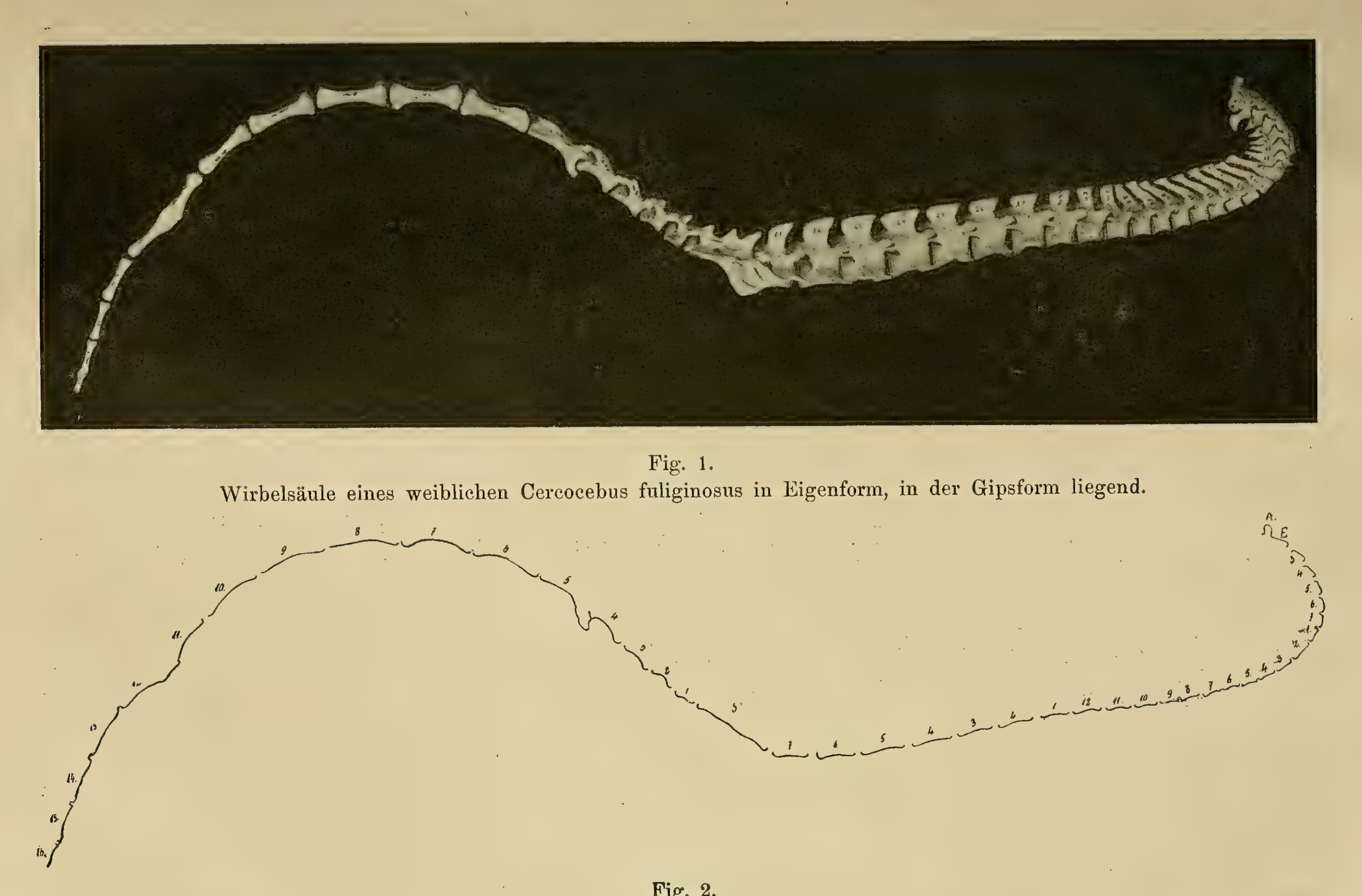


Fig. 1.

Wirbelsäule eines weiblichen Cercocebus fuliginosus in Eigenform, in der Gipsform liegend.

Fig. 2.

Cercocebus fuliginosus ♀ 25. XI. 1915. Eigenform der Wirbelsäule, abgezeichnet mittels Kraniograph. 18. V. 1916. s. Bd. XXX. S. 96.

kaudalwärts geneigt ist. Diese dorsalwärts gerichtete Biegung ist nicht auf den Halsteil beschränkt, sondern wirkt noch bis in den Brustteil hinein, bis zum 4., ja 5. Brustwirbel. Die Krümmung ist jedoch nicht gleichmäßig, sondern am stärksten an der Verbindung des 7. Hals- mit dem 1. Brustwirbel.

Der Brustteil zeigt gar keine nach hinten gewendete Konvexität, sondern er ist, abgesehen von der eben erwähnten leichten Dorsalflexion des oberen Abschnittes, völlig gerade.

Der Lendenteil ist vom 1. bis zum 4. Lendenwirbel ebenfalls gerade. In der unteren Hälfte aber ist eine leichte Krümmung vorhanden, aber nicht Kyphose, sondern Lordose.

Das Kreuzbein ist gegen die Lendenwirbelsäule leicht abgeknickt; seine ventrale Fläche steigt also, wenn man die Brust- und Lendenwirbelsäule horizontal hält, leicht nach hinten an.

Der Schwanz setzt in seiner vorderen Hälfte die Richtung des Kreuzbeins fort, ja er ist sogar über die Stellung des letzteren hinaus noch etwas dorsalwärts erhoben, so daß er gegenüber der Lendenwirbelsäule bedeutend in dorsaler Richtung ansteigt. Am frischen Präparat blieb, wenn die Brust- und Lendenwirbelsäule horizontal gehalten wurde, diese Hebung am vorderen Teil des Schwanzes ziemlich unverändert bei, während allerdings das hintere Ende bei dieser Haltung ventralwärts geneigt war, aber doch nicht schlaff herabhing, sondern so, daß der Schwanz im ganzen einen sanften Bogen beschrieb.

Suchen wir jetzt zu verstehen, was uns diese Eigenform zu erzählen hat.

Das charakteristische Merkmal des Halsteiles ist die starke Hintenüberneigung desselben. Auch an der frischen menschlichen Wirbelsäule wird, wenn sie vom Kopfe befreit ist, die Halswirbelsäule etwas nach hinten gebogen, und zwar ausnahmslos. Es ist nicht wahr, wie man uns gelehrt hat, daß die obere Fläche des Atlas horizontal steht; sie ist um etwa 45° geneigt. Beim Affen aber — und zwar nicht nur bei diesem einen Affen, sondern, wie ich bei früheren Gelegenheiten gesehen habe, allgemein — ist diese Beeinflussung unendlich viel stärker. Die Ursache liegt in den hohen elastischen Zwischendornenbändern der Halswirbelsäule. Damit finden die langen Dornfortsätze der Halswirbel, zwischen welchen diese Bänder ausgespannt sind, ihre Erklärung. Die Dornfortsätze sind nämlich nicht, wie man denken könnte, so lang, weil sich eine entsprechend kräftige (dicke) Muskulatur an sie ansetzte. Die oberflächlichen Muskeln befestigen sich gar nicht an den Dornfortsätzen, sondern wie beim Menschen hinter diesen an dem Septum nuchae, und die tiefen Rückenmuskeln lassen die Spitzen der Dornen frei.

Man versteht die starke Hintenüberneigung der Halswirbelsäule, wenn man die Affen auf allen Vieren laufen sieht. Dann muß ihr Kopf, um horizontal gerichtet zu sein, stark in den Nacken genommen sein.

Da die Wiederkäuer und das Pferd kurze Halsdornen und ein hinter diesen von den hohen Brustdornen (Widerrist) zum Epistropheus und Schädel hinübergespanntes elastisches Nackenband haben, so ergibt sich die ganz bestimmte Fragestellung: Warum haben nicht die Affen ein freies Nackenband wie Wiederkäuer und Pferd, oder warum haben nicht die Wiederkäuer so lange Halsdornen, daß ihr Nackenband in Ligamenta interspinalia zerlegt wäre?

Auf diese Fragen wird vermutlich mehreres zu antworten sein, denn die Mechanismen im Skelett der Säugetiere pflegen komplizierter zu sein, als man auf den ersten Blick denkt. Einiges läßt sich aber doch sagen. So lange Dornfortsätze, wie bei den Huftieren nötig wären, um das Nackenband vollständig in Abschnitte zu zerlegen, würden bei starker Dorsalflexion zusammenstoßen und daher hinderlich sein. Aber dies scheint mir nicht so wichtig wie etwas anderes: Bei den elastischen Kräften kommt es nicht nur auf die Stärke, sondern auch auf die Richtung der durch sie vermittelten Bewegung an. Um aber dies im speziellen Falle klar zu erfassen, muß man zerlegen in die beiden am Halse der Säugetiere möglichen Bewegungen, sagittale und seitliche Flexion. Für die sagittale Flexion kann ein starkes elastisches Band, welches von den Brustwirbeln zum Epistropheus und Schädel hinübergespannt ist, einen stärkeren Ausschlag erzielen. Noch wichtiger aber ist die Beziehung auf seitliche Biegung. In dieser Richtung ist ein freies Nackenband bestrebt, als elastische Sehne den Bogen zu verkürzen, was bei Wiederkäuern und Pferd eine wichtige Rolle spielt. Selbst beim toten Tiere wird an der frischen Wirbelsäule, welche noch mit dem Nackenband versehen ist und noch den Kopf trägt, sobald man nur diesen ein wenig nach einer Seite verschiebt, der Hals stark nach dieser Seite herumgeworfen, mit dem Anschein einer völlig lebendigen Bewegung. Beim Affen, wo die einzelnen elastischen Ligamenta interspinalia durch ihre Befestigung zwischen den Knochen festgehalten sind, ist ein derartiges seitliches Herumwerfen nicht möglich.

Brustwirbelsäule. — Auch an die Brustwirbelsäule knüpft sich ein wohl umgrenztes Problem. Die Brustwirbelsäule bildet, wenn sie noch mit den Rippen verbunden ist, eine dorsalwärts gerichtete Konvexität, nicht nur beim Menschen, sondern auch bei anderen Säugetieren. Vermissen wir daher an der von Rippen befreiten Säule die Konvexität, so sagt uns dies, daß nicht nur die Lage der Rippen durch die Wirbel-

säule, sondern auch die Lage der Wirbel durch die (mit dem Sternum verbundenen) Rippen bestimmt wird.

Dies ist mir in überaus anschaulicher Weise bei der Untersuchung des schon erwähnten Zalofus entgegengetreten: Solange die Wirbelsäule dieses Tieres noch mit den Rippen verbunden war, wies sie eine ganz schöne Konvexität des Brustteiles auf. Sobald sie aber von den Rippen befreit war, war davon nicht mehr eine Spur zu sehen; die Wirbelsäule war vollkommen gerade und, wie schon gesagt, ohne Eigenform.

Lendenwirbelsäule. — Auch bei der Lendenwirbelsäule treffen wir ein wohlcharakterisiertes Problem, diesmal ein solches, welches die Anthropologie interessiert. Es ist bekannt, daß man nach dem Vorgange von Turner einen „Lumbarindex" bildet, um den Grad der Krümmung (Kyphose oder Lordose) der Lendenwirbelsäule zu bezeichnen. Man gewinnt ihn dadurch, daß man die vorderen Höhen aller Lendenwirbel zusammenzählt und ebenso die hinteren Höhen, und daß man dann die Summe der vorderen gleich 100 setzt und ausrechnet, wie groß, darauf bezogen, die Summe der hinteren ist.

Ich habe eine besondere kritische Untersuchung über den Wert dieses Index angestellt[1], aus welcher hervorgeht, daß es mehrere dort scharf formulierte Bedenken gibt, nicht gegen ein solches Verfahren überhaupt — denn dieses billige ich durchaus —, wohl aber gegen die Meinung, daß die Ergebnisse dieses Verfahrens Präzisionswert haben, weil sie in Zahlen ausgedrückt werden.

Ich will nicht alles wiederholen, was ich bei jener Gelegenheit gesagt habe, sondern nur auf zwei Punkte die Aufmerksamkeit lenken, zu welchen mein jetziges Material: die anfangs isolierten und dann in Form zusammengesetzten Wirbel des Cercocebus, Anlaß bietet.

Höhen der unteren Brust- und der Lendenwirbel des Cercocebus.

	vordere Höhe	hintere Höhe	Differenz
t. 9	10·9 mm	11·4 mm	0·5 mm
t. 10	12 ,,	13 ,,	1 ,,
t. 11	12·2 ,,	14·3 ,,	2·1 ,,
t. 12	15 ,,	16·5 ,,	1·5 ,,
l. 1	16 ,,	17 ,,	1 ,,
l. 2	18 ,,	18·5 ,,	0·5 ,,
l. 3	19·5 ,,	20 ,,	0·5 ,,
l. 4	21·8 ,,	23·2 ,,	1·4 ,,
l. 5	23 ,,	23·7 ,,	0·7 ,,
l. 6	22 ,,	23·2 ,,	1·2 ,,
l. 7	19 ,,	19·5 ,,	0·5 ,,
Summe	189·4 mm	200·3 mm	10·9 mm

[1] *Zeitschr. f. Ethnol.* Jg. 1914. S. 146—154.

Die beigegebene Tabelle zeigt, daß bei unserem Cercocebus die Körper sämtlicher Lendenwirbel hinten höher sind als vorn. Berechnen wir daraus den Lumbarindex, so erhalten wir eine koilorrhache, d. h. an der Vorderseite konkave Wirbelsäule. In Wirklichkeit ist aber, wie die Betrachtung der Eigenform gezeigt hat, diese Wirbelsäule nicht so gestaltet, sondern in ihrem Anfangsstück gerade und in ihrem Endstück sogar leicht lordotisch.

In den Äußerungen der Autoren über den Wert des Lumbarindex ist verschiedenfach der Vorbehalt gemacht worden: vorausgesetzt, daß die Bandscheiben vorn und hinten gleich hoch sind! Wie berechtigt dieser Vorbehalt war, zeigt sich in unserem Falle, und wir haben uns im Anschluß daran die Frage vorzulegen: welche Mittel stehen uns zur Verfügung, um etwas Sicheres über die vordere und namentlich über die hintere Dicke der Bandscheiben zu erfahren? Dies ist keineswegs leicht.

Sägt man die frische Säule median durch, so tritt der Gallertkern auf der Schnittfläche hervor, womit der mechanische Zustand der Bandscheibe und damit deren Form gestört wird; wobei auch zu berücksichtigen ist, daß der Gallertkern nicht in der Mitte, sondern weiter hinten liegt. Härtet man aber erst die Wirbelsäule, um sie dann zu durchsägen, so läßt sich nicht vermeiden, daß durch die Härtung die Dicke der Bandscheiben verändert wird.

Das zuverlässigste Verfahren ist nach meiner Meinung, von der frischen Säule einen Gipsabguß zu nehmen, nach der Mazeration der Knochen jeden Wirbel zu halbieren und die eine Hälfte desselben in der Gipsform festzukleben. Man hat dann den Spalt zwischen zwei Wirbeln, welcher vorher durch die Bandscheibe eingenommen war, von der ventralen bis zur dorsalen Seite vor sich und kann nun ruhig überlegen, an welchen Stellen man am treffendsten die vordere und die hintere Dicke der Bandscheibe zu messen habe, wobei auch die jetzt scharfen Knochenränder viel bestimmtere Meßmarken abgeben.

Selbstverständlich bin ich damit einverstanden, auch meine Methode kritisiert zu sehen; und ich hebe deswegen selbst die in Betracht kommenden Punkte, auf welche ich schon bei früheren Gelegenheiten hingewiesen habe, hervor. Es sind ihrer zwei:

1. liegen möglicherweise die Knochen nach dem Ausmazerieren nicht ganz zuverlässig in ihren Lagern in der Gipsform;

2. hat möglicherweise aus dem weiter oben erwähnten Grund (Reibung an der Unterlage) die Wirbelsäule doch nicht ganz ungestört ihre Eigenform annehmen können.

Gegen beide Fehler kann man sich schützen; gegen den ersten dadurch, daß man vor dem Ausmazerieren, während die frische Säule noch in der starr gewordenen Form liegt, durch jeden Wirbel zwei divergierende in die Form eindringende Bohrungen mittels des Drillbohrers macht, durch welche man später fixierende Stifte einführen kann; gegen den zweiten dadurch, daß man dasjenige Stück der Wirbelsäule, dessen Index man untersuchen will, abschneidet und für sich formt. Bei einem so kurzen Stück ist eine störende Reibung an der Unterlage nicht mehr zu befürchten, besonders da es sich um den steifen Lendenteil handelt.

In unserem Falle zeigte sich nun an der in Form aufgestellten ausmazerierten Säule, daß die Spalten zwischen den Lendenwirbeln, die vorher durch die Bandscheiben eingenommen gewesen waren, sämtlich an der ventralen Seite weiter wie an der dorsalen Seite, also keilförmig waren, und daß dadurch die nach der Messung an den Wirbelkörpern ausgerechnete Kyphose kompensiert, ja überkompensiert war.

Indem ich diese Angaben über die Spalten mache, sage ich damit nichts Endgültiges über die Bandscheiben. Die Sache liegt ja bei den Bandscheiben etwas anders wie bei den Knochen. Die Knochen sind starr, die Bandscheiben dagegen zusammendrückbar, und es besteht daher die Möglichkeit, daß die geringere hintere Dicke derselben dadurch bedingt ist, daß durch die elastischen Ligamenta interarcuata die Bandscheiben hinten zusammengedrückt werden. Von einer bestimmten Dicke der Bandscheiben läßt sich also überhaupt nicht sprechen, wenn man nicht zuvor die Bogen und mit ihnen die Zwischenbogenbänder abgeschnitten hat.

Die Betrachtung unserer in Eigenform aufgestellten Wirbelsäule veranlaßt mich noch zu einer zweiten Bemerkung. Die Keilgestalt der Wirbelkörper infolge Überwiegens der hinteren Höhe beschränkt sich, wie die oben gegebene Tabelle zeigt, nicht auf die Lendenwirbel, sondern findet sich ebenso auch an den unteren Brustwirbeln. Wenn man daher von dem Einfluß der Keilgestalt auf die Form der Wirbelsäule sprechen will, so muß man den unteren Abschnitt der Brustwirbelsäule mit berücksichtigen. Dies gilt nicht nur für die Affenwirbelsäule, sondern ebenso für die Wirbelsäulen von Anthropoiden, ja von Menschen, wofür mir die nötigen Messungen zur Verfügung stehen, worauf ich aber, um diese Besprechung nicht in die Länge zu ziehen, an dieser Stelle nicht eingehen will.

Schwanzwirbelsäule. — Auch an den Schwanzteil der Wirbelsäule knüpft sich ein bestimmtes mechanisches Problem. Ich habe bei einer früheren Gelegenheit die anatomischen Gründe für die eigentümliche Erscheinung untersucht, daß am Schwanz des Pavian der Anfangsteil stets

gehoben ist und nur der Endabschnitt hinabhängt.[1] Von unserem Cercocebus verrät uns die Aufstellung in Eigenform, daß auch bei ihm die mechanische Ruhelage mit einer dorsalen Hebung des Anfangsteiles verbunden ist, wenn auch nicht von gleicher Stärke und Starrheit wie beim Pavian. Man wird, nachdem man hinter diese Eigentümlichkeit gekommen ist, mit mehr Verständnis die eigentümliche Schwanzhaltung der auf allen Vieren daherlaufenden Affen betrachten.

Man sieht aus den vorausgehenden Betrachtungen, daß vor unseren Augen, sozusagen ohne unser Zutun, das Problem der Eigenform der Wirbelsäule einen bestimmteren Inhalt bekommt, daß sich aus ihm bestimmte Einzelfragen loslösen. Die Eigenform gibt uns, wie schon gesagt, nicht die „natürliche Haltung", sie gibt uns nicht die „Normalhaltung", sie gibt uns auch nicht die (naturgemäß wechselnde) Haltung des Lebenden, aber sie lehrt Eigenschaften der Wirbelsäule kennen, und da sie (die Eigenform), wenn auch durch akzessorische Umstände beeinflußt, doch in der Haltung des Lebenden steckt, so schärft sie Blick und Verständnis für letztere.

Eine notwendige Ergänzung bildet das Studium der Bewegungsmöglichkeiten.

Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule.

Man kommt zu einer genaueren Kenntnis der Bewegungsmöglichkeiten, indem man planmäßig vorgeht, d. h. indem man, von je zwei zusammenstoßenden Wirbeln den einen mit der einen, den anderen mit der anderen Hand fassend, den einen gegen den anderen bewegt, und indem man dabei die drei möglichen Arten der Bewegung: sagittale Flexion, seitliche Flexion und Drehung, gesondert nacheinander ins Auge faßt.

Von vornherein liegt der Gedanke nahe, um „exakte" Ergebnisse zu erzielen, Apparate in Anwendung zu ziehen, welche gestatten, die Wirbel einzuspannen und Winkel abzulesen; und ich habe demgemäß schon vor etwa 20 Jahren, seitdem ich anfing, mich mit diesen Dingen zu befassen, eine solche Möglichkeit erwogen. Ich habe jedoch aus Gründen, auf die ich hier nicht eingehen will, auf die Benutzung derartiger technischer Hilfsmittel verzichtet und mich auf die manuelle Untersuchung beschränkt.

---

[1] Die Mechanik der Schwanzwirbelsäule von Papio olivaceus. *Sitzungsber. d. Ges. naturf. Freunde.* 1914. S. 181—186.

A. Halswirbelsäule.

a) Drehung fehlt.

b) Sagittale Flexion ist ventralwärts bis zu gerader Streckung ausführbar, dorsalwärts noch etwa 20° über die durch die Eigenform gegebene Stellung hinaus.

c) Seitliche Biegung ist am oberen Ende des Halses nicht so erheblich, wie man denken möchte, und ist hier mit einem leichten Betrage von Drehung verknüpft; beträchtlicher ist sie zwischen *c.* 6 und *c.* 7 sowie zwischen *c.* 7 und *t.* 1, jedoch nicht so erheblich wie an den ersten Brustwirbeln.

B. Brustwirbelsäule.

a) Drehung findet sich bis zu der Verbindung von *t.* 10 und *t.* 11. Der Gesamtbetrag derselben beträgt etwa 45°. Die Drehfähigkeit ist am oberen Ende am beträchtlichsten und nimmt nach unten hin ab bis zum Verschwinden.

b) Sagittale Biegung läßt sich nach der ventralen Seite nur wenig über die gerade Streckung hinaus zuwege bringen; nach der dorsalen Seite geht sie weiter, jedoch ist sie auch in dieser Richtung beschränkter, als ich erwartet hatte.

c) Die seitliche Biegung ist ausgiebiger und weniger gehemmt als die sagittale, im ganzen so viel, daß der 1. Brustwirbel um 30° gegen den letzten geneigt wird.

C. Lendenwirbelsäule.

a) Drehung fehlt.

b) Die sagittale Biegung läßt sich sowohl ventralwärts wie dorsalwärts in kleinem Betrage gegen stark federnden Widerstand ausführen.

c) Die seitliche Biegung ist auch hier erheblicher als die sagittale.

D. Schwanzwirbelsäule.

a) Drehung fehlt.

b) Sagittale Biegung. — Dieselbe läßt sich im Anfangsteil nicht einmal so weit ausführen, daß der Schwanz bis in die gerade Verlängerung der Lendenwirbelsäule gebracht würde; im ganzen geht sie ventralwärts so weit, daß der Schwanz einen guten Halbkreis ausführt, und zwar mit gleichmäßiger Biegung.

Anders dorsalwärts. Nach dieser Seite ist im Bereich der ersten drei Wirbel die Biegung ausgiebig; dann folgt ein bis zum 10. Wirbel reichendes Stück, an welchem sie ganz gering ist; am Endstück ist sie dann wieder etwas bedeutender, jedoch auch nicht beträchtlich.

c) Seitliche Biegung ist sehr erheblich an der Schwanzwurzel, und zwar nicht so sehr an der Verbindung des 1. Wirbels mit dem Kreuzbein wie an den beiden folgenden Verbindungen. Von da an ist dann der Schwanz in dieser Richtung steifer und kann nur noch den dritten Teil eines Kreises, und zwar in gleichmäßiger Biegung beschreiben.

(Der 11. und 12. Schwanzwirbel sind an dem untersuchten Exemplar, jedenfalls infolge einer früheren Verletzung, starr verbunden.)

Diesen Angaben über die Bewegungsmöglichkeiten habe ich nur wenige Bemerkungen hinzuzufügen, teils weil diese Angaben für sich selber sprechen, teils weil ich nur wiederholen könnte, was ich bei früheren Gelegenheiten schon gesagt habe.

Biegung in sagittaler Richtung. — Es macht sich immer wieder als auffallend bemerkbar, daß bei kurzhalsigen Säugetieren im Halsteil der Wirbelsäule eine ventrale Biegung (über die gerade Streckung hinaus) fehlt. Ich fand dies zuerst beim Löwen. Damals glaubte ich es so erklären zu können, daß für dieses Tier, welches im Lauf eine schwere Beute wegzuschleppen hat, dadurch eine zweckmäßige Versteifung der Halswirbelsäule gewonnen wäre. Dann traf ich es beim Bären. Auch für diesen könnte, als für ein Raubtier, die gleiche Deutung zulässig erscheinen. Dann aber sah ich es auch beim wilden Kaninchen, auf welches eine ähnliche Begründung nicht anwendbar ist. Diese Einrichtung ist also noch nicht ausreichend erklärt.

Seitliche Biegung. — Bei allen bisher von mir untersuchten vierfüßigen Tieren habe ich übereinstimmend gefunden, daß das Maximum der seitlichen Biegung (vom Schwanze abgesehen) in den oberen Brustteil fällt. Diese Beobachtung ist von Wichtigkeit wegen der Konsequenzen, welche sie für die Auffassung der Thoraxmechanik hat, worauf ich aber hier nicht näher eingehen will.

Drehung. — Es wurde im vorhergehenden mitgeteilt, daß im Halsteil keine isolierte Drehfähigkeit vorhanden ist, daß sich jedoch mit der seitlichen Biegung ein geringer Betrag von Drehung kombiniert. Dies ist die Folge der Schiefstellung der Gelenkfortsätze bzw. der Neigung ihrer Flächen gegen die Frontalebene, welche bei den Affen ebenso wie beim Menschen vorhanden ist. — Auffallend und nach dem Befunde an den ausmazerierten Knochen nicht zu erwarten ist das Fehlen der Drehfähigkeit am Schwanz, welches ich auch beim Pavian gefunden habe (a. a. O.). Von den 16 Kaudalwirbeln unseres Cercocebus sind die fünf ersten mit Gelenkfortsätzen versehen, welche nach dem Radiustypus gestellt sind. (Dieselben gehen so weit, wie ein Wirbelkanal vorhanden ist. Am kaudalen Ende des 5. Schwanzwirbels sind an Stelle der Gelenkfortsätze zwei ver-

schmolzene „Cornua" vorhanden, denen ebensolche am kranialen Ende des 6. Wirbels entsprechen. Solche Cornua bleiben auch an den folgenden Wirbeln bei.) Für die ersten 5 Kaudalwirbel ist mithin das Fehlen der Drehfähigkeit durch den Typus der Gelenkfortsätze erklärt, aber für die folgenden muß die Behinderung durch Bänder erreicht werden. — Ich erinnere daran, daß ich beim Megalobatrachus, beim Alligator und bei Vögeln Drehfähigkeit im Schwanze gefunden habe.

Beschreibung der Wirbel.

Meine Absichten bei der Untersuchung der isolierten ausmazerierten Wirbel bestanden darin: 1. die Beziehungen auf die mechanischen Eigenschaften der Wirbelsäule klarzustellen, wie sie sich in der Eigenform und in den Bewegungsmöglichkeiten offenbart hatten, 2. die Beziehungen des Skeletts zur Muskulatur nachzuweisen, welche ich vom Erythrocebus in einem vorausgehenden Aufsatz beschrieben habe, und 3. Vergleichspunkte für die menschliche Wirbelsäule zu finden.

Messungen. — Ich habe bei meinen durch eine Reihe von Jahren angestellten Untersuchungen an Wirbelsäulen immer wieder Veranlassung gehabt, zu messen; und da längere Zeiträume dazwischen lagen, gestaltete sich mein Urteil über den Wert der Messungen objektiver. Ich kann nicht sagen, daß die Ergebnisse mich mit großer Befriedigung erfüllen. Manche dieser Zahlenreihen sehen sogar ganz hoffnungslos aus. Man sollte ja von vornherein meinen, daß innerhalb eines für feine Aktionen abgestimmten Körpers in einem gleichartigen Abschnitt der Wirbelsäule entweder Konstanz der Formen oder eine von Wirbel zu Wirbel in geringen Beträgen aber doch in gleichbleibender Richtung sich ändernde Größe der Maße vorhanden sein müsse. Die Zahlen zeigen dagegen häufig etwas Sprunghaftes, ja ein Auf und Ab, welches dem Beschauer den Mut nimmt, in ihnen präzise Beziehungen auf lokal wechselnde Beanspruchungen zu suchen.

Man muß aber in diesen Unregelmäßigkeiten zwei Dinge unterscheiden:

Erstens befindet man sich in einer gewissen Unsicherheit über die Wahl der Meßpunkte und die Anlegung der Instrumente, von welcher man bei der Arbeit selbst beständig gepeinigt wird. Dies liegt an den Formen, deren man durch die Messung Herr zu werden bestrebt ist. Ich will darauf, da es für die Beurteilung der nachfolgenden Tabellen von Bedeutung ist, im einzelnen etwas eingehen.

a) Höhe der Wirbelkörper. — Martin definiert diesen als „geradlinige Entfernung der oberen von der unteren Fläche des Wirbelkörpers, in der Mediansagittalebene an der Ventralfläche des Wirbels gemessen".[1]

[1] *Lehrbuch der Anthropologie.* Jena 1914. S. 896.

Man möchte glauben, daß diese Definition nicht wörtlich gemeint ist; wenn sie es aber ist, so muß man ihr entgegenhalten, daß erstens diese Messung in vielen Fällen gar nicht ausführbar ist, weil die Endflächen des Wirbelkörpers unter Abrundung der ventralen Kante in die ventrale Fläche übergehen, und daß zweitens aus demselben Grunde (wegen Abrundung der Kante) dieses Maß zu gering ausfallen würde. Man muß daher etwas hinter der Kante auf dem Epiphysenringe die Arme der Schubleere anlegen. Aber dabei bleibt man oft im Zweifel über die Wahl des Meßpunktes, denn Bruchteile eines Millimeters vor oder zurück verändern bereits das Höhenmaß in bemerkenswerter Weise.

b) Breite der Wirbelkörper. — Beschränken wir uns hier auf den kranialen Breitendurchmesser, so ist es unmöglich, für alle Wirbel vergleichbare Maße zu finden. An den Halswirbeln muß man zwischen den Kanten der seitlichen Leisten messen, welche aber an den Brust- und Lendenwirbeln nicht vorhanden sind. An den Lendenwirbeln läßt sich einwandfrei die Breite bestimmen, und dies ist auch an den unteren Brustwirbeln der Fall. An den oberen Brustwirbeln dagegen kommt man mit den Rippenpfannen in Konflikt. Legt man vor diesen das Meßinstrument an, so bekommt man eine zu geringe Breite. Am richtigsten habe ich es gefunden, beim Menschen und bei den anderen Primaten am 1. Halswirbel hinter den Pfannen, beim zweiten zwischen den Mitten der oberen Ränder der Pfannen und vom dritten an zwischen den vorderen Ecken dieser Ränder zu messen.

c) Dicke der Wirbelkörper. — Hier läßt sich im allgemeinen die Messung an allen Wirbeln gleich und daher einwandfrei anstellen. Immerhin ist doch zu bemerken, daß zuweilen der hintere Rand in der Mitte eingezogen ist, so daß man ein etwas zu kleines Maß erhält, und daß zuweilen an einigen, aber nicht an allen Halswirbeln an der Rückseite des Körpers eine mediane Leiste vorhanden ist, so daß an den damit versehenen Wirbeln das Maß etwas zu groß ausfällt.

d) Gelenkfortsatzwinkel. — Dieses Maß, auf dessen Bestimmung ich viel Wert lege, läßt sich mit Sicherheit gewinnen, wenn die Gelenkflächen vollkommen plan sind. Sind dagegen die Flächen konkav oder, was schlimmer ist, konvex oder, was auch vorkommt, unregelmäßig höckerig, so ist beim Anlegen der Schenkel des Winkelmessers ein gewisses Moment der Schätzung nicht zu umgehen, und man findet beim Wiederholen der Messung Differenzen von mehreren, ja bis zu 10 Graden. Auch finden sich Fälle, wo man wegen der Gestaltung des Wirbels mit dem Instrument nicht gut an die Gelenkflächen herankommen kann.

e) Abstände der Mittelpunkte der kranialen Gelenkflächen. — Fast immer sind die Ränder der Gelenkflächen an den Gelenkfortsätzen unregelmäßig begrenzt; es sind sozusagen Stücke des Randes abgebrochen. Dadurch ist die Bestimmung des Mittelpunktes einer solchen Fläche unsicher. Am besten ist es, den Punkt nach Schätzung von freiem Auge durch ein feines Tuschepünktchen zu bezeichnen.

f) Längen und Breiten der Flächen der Gelenkfortsätze. — Auch hierbei machen sich die eben erwähnten Unregelmäßigkeiten der Ränder in sehr störender Weise bemerkbar.

Ich habe aber noch etwas Zweites zu nennen, was von diesen Unsicherheiten über die Meßpunkte gänzlich verschieden ist; das sind die so gewöhnlichen Unregelmäßigkeiten in der Gestalt der einzelnen Wirbel bzw. der einzelnen Bestandteile der letzteren. Sehr häufig verlaufen die Kanten der Endflächen der Wirbelkörper nicht glatt, sondern wellig mit unregelmäßigen Erhebungen oder Vertiefungen. Nicht selten ist ein Wirbelkörper auf der einen Seite höher wie auf der entgegengesetzten Seite. Ebenso gibt es Unregelmäßigkeiten in der Stellung der beiden Gelenkfortsätze eines Paares. Derartige Erscheinungen erfüllen denjenigen, welcher an das Naturprodukt mit den Anforderungen herantritt, welche man an ein Werk der menschlichen Technik legen würde, mit Unbehagen und haben zu dem oft gehörten Vorwurf geführt, die Natur habe in der Ausführung der Wirbel schlechte Arbeit gemacht. Dieser Vorwurf ist nun zwar, worauf ich nicht weiter eingehen will, nicht berechtigt; jedenfalls verunstalten aber diese Unregelmäßigkeiten unsere Zahlenreihen und erschweren uns im Verein mit den vorher genannten Unsicherheiten der Meßpunkte die Analyse, welche wir mit Hilfe der Zahlen durchzuführen wünschen.

Aus diesen Unsicherheiten leite ich natürlich nicht die Folgerung ab, daß man das Messen unterlassen solle. Messen muß man, um einen bestimmt faßbaren Ausdruck für Größenverhältnisse zu haben. Aber ich leite davon die Einsicht ab, daß die einzelne ermessene Zahl nicht immer der reine Ansdruck dessen ist, um wessentwillen sie genommen wurde. Es steckt wohl darin, aber in vielen Fällen sozusagen verunreinigt, durch ein Plus oder Minus gefälscht. Die Wirbelsäule ist gerade dadurch, daß sie eine Folge gleichwertiger Stücke (der Wirbel) ist, so einzigartig wertvoll für Messungen, indem uns die Zahl, in die Reihe mit den gleichen Zahlen von anderen Wirbeln gestellt, sofort anzeigt: Halt, hier ist etwas nicht in Ordnung!

In dieser Verlegenheit bleibt nichts weiter übrig als: weiter messen! Mißt man von einer Spezies möglichst viele Individuen, von den Säuge-

tieren möglichst viele Arten, von den Wirbeltieren möglichst viele Gruppen, so gewinnt man ein mit der Zeit sich verfeinerndes Verständnis; zunächst — was auch schon viel wert ist — Kritik. Ich habe z. B. gefunden, daß beim Megalobatrachus (Cryptobranchus) die Maße für die Rumpfwirbel auch nicht gleich sind, obwohl doch hier auf eine weite Strecke die Formen und die Bedingungen sich gar nicht ändern; es ist also auch bei diesem Amphibium über „Ungenauigkeit der Ausführung" zu klagen. Man darf aber daraus keine allgemeine Regel ableiten, z. B. etwa das gleiche bei einer Schlange vermuten. Bei letzterer besteht wahrscheinlich diese Unregelmäßigkeit nicht.

Setzt man die Messungen genügend lange Zeit fort, so trifft man gelegentlich auch solche Reihen, welche einen „reinen" Eindruck machen. An solchen übt und klärt sich das Urteil, und man kann dann mit mehr gesichertem Urteil an die weniger klaren Fälle herangehen. Ich werde einige Beispiele dieser Art vorführen.

So darf man hoffen, allmählich nicht nur Zahlen, sondern auch Verständnis derselben zu gewinnen.

Ich gehe nun an die Beschreibung der Wirbel des Cercocebus heran.

Atlas.

Das Tuberculum anterius tritt stark hervor, ein Anzeichen für die kräftige Wirkung des M. longus colli.

Der Querfortsatz ist rein seitwärts gerichtet. — Ich habe bei mehreren Negeratlanten gefunden, daß der Querfortsatz erheblich nach der kaudalen Seite abgelenkt ist, was ich bei anderen farbigen Rassen und beim Europäer nicht in gleicher Weise gesehen habe. Dies muß mit Muskelwirkungen in Verbindung stehen, die aber noch aufzuklären sind.

Epistropheus.

Der Zahn ist lang und schlank; seine vordere Gelenkfläche bedeutend mehr hoch als breit (5·5 : 3·2).

Die seitlichen Gelenkflächen sind groß und fallen stark nach der Seite ab. — Diese starke Neigung der seitlichen Flächen scheint bei Säugetieren allgemein zu sein. Da sie sich beim Menschen nicht in gleicher Weise findet, so dürfte wohl die Lage dieser Flächen beim Menschen mit der aufrechten Körperhaltung in Verbindung stehen.

Querfortsätze.

a) Der Halswirbel. — Die Muskelleiste am Querfortsatz des 6. Halswirbels ist bedeutend kräftiger wie beim Menschen und tritt stärker nach der ventralen Seite hervor. — Ich möchte hier eine Bemerkung einschieben über die Querfortsätze der Halswirbel des Menschen, welche in den Lehr-

büchern zu schematisch behandelt zu werden pflegen. Die Querfortsätze bestehen bekanntlich aus zwei Balken, einem vorderen und einem hinteren, welche durch das Querfortsatzloch getrennt sind; aber diese Balken laufen nicht bei allen Wirbeln seitlich in zwei Tubercula aus. Sie tun es nicht beim 7. Halswirbel, wo vielmehr beide Balken, der vordere schief nach hinten gerichtet, zur Bildung einer einzigen Spitze zusammenkommen. Dasselbe ist der Fall beim Epistropheus. Es ist meist auch der Fall beim Atlas. Finden sich bei letzterem ausnahmsweise zwei Tubercula, so ist das hintere derselben ein hinten aufgesetzter besonderer Muskelhöcker, welcher mit den starken Muskelansätzen (Levator scapulae, Splenius) in Verbindung steht. Auch beim 3. Halswirbel findet sich häufig eine einfache Spitze. Das sogenannte Tuberculum anterius der übrigen ist eine dem vorderen Balken aufgesetzte Muskelleiste. Es ist also nicht das Äquivalent der Rippe, sondern etwas zu dieser Hinzutretendes. Diese Leiste nun ist, wie bekannt, am 6. Halswirbel am kräftigsten ausgebildet als eine Folge der Anordnung des M. longus colli. Die Einwirkung des Muskels äußert sich auch darin, daß diese Leiste des 6. Halswirbels am meisten ventralwärts hervortritt; und dieser Einwirkung kann sich auch der vordere Balken selbst, das Rippenrudiment, nicht gänzlich entziehen. Auch er ist mehr nach vorn abgebogen, wie die vorderen Balken an den übrigen Halswirbeln. Dadurch wird auch das Foramen transversarium beeinflußt. Ich fand bei einem Australier (1905, 35 der anatomischen Sammlung) den dorso-ventralen Durchmesser dieses Loches am 6. Halswirbel 6·3 mm, am fünften nur 5·2.

b) Der Lendenwirbel. — Diese Fortsätze sind lang und mit ihren Enden kranialwärts abgebogen. Dabei sind sie jedoch platt, d. h. in dorsoventraler Richtung dünn. Durch die Vereinigung dieser Merkmale unterscheiden sie sich sehr von denen des Menschen.

Processus accessorii.

Sie finden sich von *t.* 8 bis *l.* 6, an diesen beiden Wirbeln jedoch nur schwach; am längsten sind sie an *l.* 2 und *l.* 3. Von der Bedeutung dieser Fortsätze für den lateralen Schwanzheber habe ich in einer anderen Arbeit gesprochen.[1]

Processus mammillares.

Sie sind am schönsten von *t.* 12 bis *l.* 3, finden sich jedoch auch an *t.* 11. Die Bedeutung für den Multifidus wurde an anderer Stelle hervorgehoben (a. a. O.); das plötzliche Schwinden vor *t.* 11 steht in Verbindung mit der Änderung im Typus des M. transversospinalis.

[1] *Dies Archiv.* 1916. Anat. Abtlg. S. 1.

Muskelrauhigkeiten an den Gelenkfortsätzen der Halswirbel.

Solche finden sich am 4., 5., 6. Halswirbel; am 7. sind sie nur angedeutet, am 3. fehlen sie; die am 6. sind am stärksten. Im ganzen sind sie aber doch bei Cercocebus schwach, und zwar nicht Wülste wie beim Menschen und bei den Anthropoiden, sondern rauhe Vertiefungen. Noch ausgeprägter ist die grubige Beschaffenheit bei Magus (Macacus) hecki, wo aber auch *c.* 3 frei davon ist. Es scheint, daß die kleineren Wirbel die Gruben, die größeren die Wülste bevorzugen (zugleich ein interessantes Beispiel dafür, daß ebensogut rauhe Wülste wie rauhe Gruben als Ansatzstellen für Muskeln in Betracht kommen können).

Ich lege auf diese Muskelrauhigkeiten deshalb so viel Wert, weil in ihnen ganz bestimmte am Knochen sichtbare Hinweise auf Bündel des Nackenmultifidus enthalten sind, von welchen ich in einem anderen Aufsatz (a. a. O.) gesprochen habe. Es lag mir deswegen daran, nicht nur daran zu erinnern, daß diese rauhen Stellen vorhanden sind, sondern auch darauf aufmerksam zu machen, daß sich in ihrer Stärke an den einzelnen Wirbeln Unterschiede finden, daß sie am 6. Halswirbel am stärksten sind und am 3. fehlen. Ich gebe deswegen auch, um zu zeigen, daß es sich beim Menschen ebenso verhält, noch den Befund von einem Australier (1905, 35 der anatomischen Sammlung) wieder.

Bei diesem sind die Wülste an den Gelenkteilen der Halswirbel so deutlich abgegrenzt, daß ihre Breite meßbar ist. Bei *c.* 3 findet sich keine Spur davon; bei *c.* 4 ein 3·5 mm breites Hügelchen; bei *c.* 5 ein 8·5 mm breiter und bei *c.* 6 ein 9 mm breiter Höcker, von welchen aber letzterer erheblich höher ist wie der an *c.* 5; bei *c.* 7 findet sich an der gleichen Stelle nur eine unbedeutende Rauhigkeit. Diese Wülste sitzen nicht eigentlich am oberen oder unteren Gelenkfortsatz, sondern am Gelenkteil in halber Höhe zwischen dem oberen und unteren Rande, ebenso wie auch die Grübchen bei den genannten Affen.

So wie ich durch die Erfahrungen, welche ich bei der Präparation des Nackenmultifidus gemacht hatte, darauf geführt wurde, auf die beschriebenen Knochenhöcker zu achten, so finde ich nun umgekehrt auch in der lokal wechselnden Stärke der letzteren einen Hinweis darauf, daß der mechanische Wert der an ihnen entspringenden Multifidusportionen ein ungleicher ist, und daß wir von ihnen aus ein feineres Verständnis für den Muskel gewinnen können. Eine derartige Unterstützung ist für denjenigen, welcher sich mit der Muskulatur beschäftigt, wertvoll, denn solange er nur an dem Muskel selbst die feineren lokalen Unterschiede nachweist, wird er wenig Aussicht haben, gegen den nun einmal angenommenen und

aus Bequemlichkeit festgehaltenen generalisierenden Schematismus anzukämpfen. Gegen die Knochenwülste aber, indem diese erst durch die Mazeration scharf hervortreten und an den aufbewahrten Knochen jederzeit nachgewiesen werden können, ist eine Einwendung nicht zu machen.

Seitliche Leisten an den kranialen Endflächen der Körper der Halswirbel.

Die oberen Endflächen der Halswirbel sind bekanntlich beim Menschen durch den Besitz seitlicher Leisten ausgezeichnet. Solche finden sich auch bei Anthropoiden und Affen und außerdem beim Känguru. Ob sie sonst noch vorhanden sind, vermag ich nicht anzugeben. Jedenfalls habe ich sie bei Raubtieren, Wiederkäuern, Equiden, Elefant, Rhinozeros, Pinnipediern, Nagetieren vermißt. Da zwischen dem Känguru und den Primaten keine verwandschaftlichen Beziehungen bestehen, so muß man das Vorkommen bei beiden als eine „Konvergenzerscheinung“ ansehen, und es liegt nahe, sie mit der aufrechten Körperhaltung in Verbindung zu bringen.

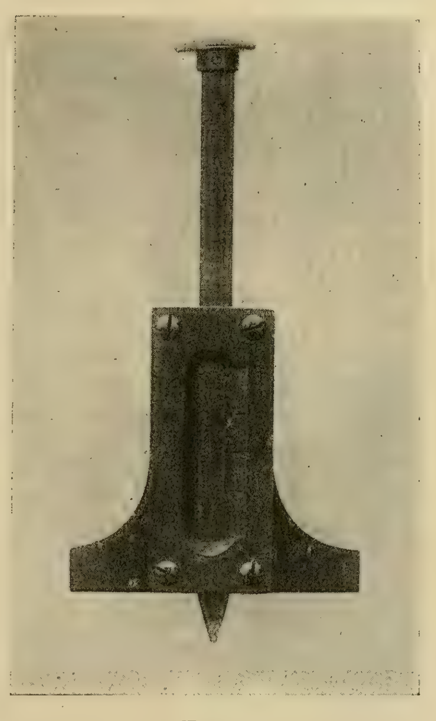


Fig. 3.

Wegen der Beschränkung auf einzelne Familien habe ich diesen Leisten eine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und zur Bestimmung der Höhe derselben einen eigenen Apparat anfertigen lassen (Fig. 3).

Apparat. — Derselbe besteht aus einem Balken, welcher horizontal auf die Leisten eines Wirbels aufgelegt wird, und einer Stange, welche rechtwinklig zu dem Balken steht und in einem Loch desselben gleitet. Durch Millimeterteilung und Nonius kann die Höhe der Leisten auf Zehntelmillimeter bestimmt werden. Ich nenne den Apparat „Kraspedometer“.[1]

Ich gebe einige Befunde in tabellarischer Übersicht.

[1] Von τὸ κράσπεδον = die Leiste.

	c. 3	c. 4	c. 5	c. 6	c. 7
Cercocebus fuliginosus	3·4	2·8	3·2	2·8	2·5
Magus (Macacus) hecki	2·1	2·5	2·7	2·5	2·0
Orang	7·0	6·0	5·0	3·6	4·5
Schimpanse, Kind	5·7	4·6	4·3	4·0	3·8
Schimpanse, jugendlich[1]	5·5	5·7	6·4	6·3	6
Schimpanse, erwachsen	5·3	5·5	5·8	5·7	6·0
Gorilla	7·5	8·7	8·5	7·0	6·5
Australier (1905, 35 d. Anat. S.)	4·3	5·0	6·2	6·3	5·5
Neger	6·3	6·3	6·0	6·3	5·6
Macropus rufus	4·4	4·4	4·3	4·0	3·8

Bei der Besichtigung dieser Zahlen muß man in Betracht ziehen, daß die Differenzen zum großen Teil nur Bruchteile eines Millimeters betragen, und daß die kleinen Unebenheiten an den Endflächen der Wirbel ebenso wie kleine Unregelmäßigkeiten an den Rändern der seitlichen Leisten viel größere Schwankungen als diese Differenzen veranlassen können. An einigen dieser Reihen sieht es ja allerdings so aus, als sei in ihnen von Wirbel zu Wirbel eine Abänderung in bestimmtem Sinne zu erkennen, wie z. B. bei den drei Schimpansen. Doch widersprechen gerade die letzteren sich, immer einer beiden anderen, indem der eine das Maximum am Anfang, der zweite in der Mitte und der dritte am Ende der Reihe hat, so daß sie sich sozusagen gegenseitig ad absurdum führen. Man kann also, wie es scheint, den Differenzen zwischen der Höhe der Leisten an benachbarten Wirbeln keine Bedeutung beimessen.

Eher ist es von Wichtigkeit, die verschiedenen Spezies miteinander zu vergleichen. Wir brauchen dazu ein anderes Maß, welches wir neben das der Leistenhöhen stellen bzw. welches wir mit demselben zur Berechnung eines Index vereinigen können. Als ein solches Maß bietet sich die Breite der Wirbelkörper, d. h. der Abstand der Kanten der seitlichen Leisten eines Paares dar. Setzt man die Breiten gleich 100 und errechnet man die entsprechende Zahl für die Höhe der Leisten, so erhält man damit einen „Leistenindex“.

Ich habe für diesen Zweck von den vorher aufgeführten Spezies jedesmal denjenigen Wirbel ausgewählt, welcher die höchsten Leisten hatte, was allerdings insofern nicht einwandfrei ist, weil diese Wirbel in der Reihe der Halswirbel einen verschiedenen Platz haben und demgemäß die Breitenmaße nicht genau korrespondieren.

[1] Der männliche Schimpanse „Moritz“ des Berliner zoologischen Gartens. Derselbe war zwar jugendlich, hatte aber doch sein fertiges Gebiß und angewachsene Epiphysen der Wirbelkörper.

	Leistenindex
Cercocebus fuliginosus	44·1
Magus (Macacus) hecki	36·0
Orang	41·9
Schimpanse, Kind	46·4
Schimpanse, jugendlich	45·7
Schimpanse, erwachsen	31·2
Gorilla	42·4
Australier (1905, 35 d. Anat. Samml.)	30·7
Neger	23·3
Macropus rufus	30·7

Wenn es gestattet ist, bei dieser Tabelle von Ergebnissen zu sprechen, so würden diese darin bestehen, daß bei Affen und Anthropoiden die seitlichen Leisten, bezogen auf die Breite der Halswirbel, höher sind wie beim Menschen; auffallend ist allerdings das geringe Maß beim älteren Schimpansen. Von den beiden untersuchten Menschen hatte der Australier höhere Leisten wie der Neger. Das Känguru kam dem Australier gleich.

Halten wir Umschau, ob in anderen Wirbeltierklassen etwas Ähnliches vorkomme, so dürfen wir wohl die sattelförmigen Endflächen an den Halswirbeln der Vögel zu Vergleichen herbeiziehen, obwohl sie in den feineren Einzelheiten abweichend gestaltet sind. Dies bringt mich auf die Frage nach der Bedeutung der Leisten.

Solange man nicht sicher weiß, wozu eine Einrichtung dient, darf man nicht nur, sondern muß man alle Möglichkeiten in Betracht ziehen, um per exclusionem zu dem Richtigen zu gelangen. Eine der denkbaren Möglichkeiten wäre, daß die Leisten das Widerlager für die Querfortsätze verstärken; doch ist dies für einige der angeführten Fälle nicht anwendbar.

Eine andere Möglichkeit ist die, auf welche der Vergleich mit den Halswirbeln der Vögel führt. Ich habe davon schon bei früherer Gelegenheit gesprochen[1], und ich beziehe mich auf das damals Geäußerte. Man sagt, die Vögel haben an ihren Halswirbeln sattelförmige Endflächen, um sowohl sagittale wie seitliche Flexion ausführen zu können. Richtig ist, daß diese beiden Arten der Bewegung möglich sind, und nur sie, nicht auch Drehung; aber wie ich bei jener früheren Gelegenheit schon mitteilte, die gleiche Bewegungskombination — sagittale Flexion und seitliche Flexion mit Ausschluß von Drehung — wird bei Wirbelsäulen noch durch andere Typen erreicht. Es muß also dafür, daß bei Vögeln gerade diese Art der Wirbelverbindung gewählt ist, ein besonderer akzessorischer Grund vorliegen. Als solchen vermutete ich Sicherung gegen seitliche Bewegung, d. h. eine Einrichtung, die zwar letztere nicht hindert, aber sie doch erschwert und die Wirbelsäule in die Bahn sagittaler Flexion hineindrängt.

---

[1] *Dies Archiv.* 1915. Anat. Abt. S. 213—244.

Dies läßt sich nun ganz gut auch auf diejenigen Säugetiere anwenden, welche an ihren Halswirbeln seitliche Leisten besitzen. Von diesem Gesichtspunkte aus müssen wir auch das Verhältnis von Breite und Dicke an den Wirbelkörpern selbst betrachten. Es liegt ja auf der Hand, daß in allen Fällen, wo die Dicke hinter der Breite zurückbleibt, die sagittale Flexion vor der seitlichen begünstigt ist.

Dieses Verhältnis besteht nun in ganz besonders hohem Grade beim Känguru (Macropus rufus), in viel höherem Grade als beim Menschen und bei anderen Primaten, und zwar an allen Halswirbeln, wie die beifolgenden Zahlen zeigen.

	Breite	Dicke
c. 3	14·5	6
c. 4	15	5·5
c. 5	15	6·3
c. 6	15	7
c. 7	15	7

Man sieht, daß an keinem Wirbel die Dicke auch nur der halben Breite gleichkommt.

Ich will nun die Breiten und Dicken des jedesmaligen 5. Halswirbels einiger Spezies vergleichen.

	Breite	Dicke	Index
Australier	18·7	14·7	78·6
Erwachsener Schimpanse	16	12·1	75·8
Schimpansenkind . . .	13	9·2	70·8
Cercocebus	7·3	5·1	69·9
Macropus	15	6·3	42

Diese Tabelle — welche natürlich wie jede derartige Tabelle, die sich auf Einzelfälle stützt, nur einen provisorischen Wert hat — sagt aus, daß die Dicke und damit die Versteifung gegen sagittale Flexion am größten ist beim Menschen (Australier), demnächst beim erwachsenen Schimpansen, dann beim Schimpansenkinde und etwa ebenso beim Affen (Cercocebus), aber viel geringer beim Känguru. Dieses Ergebnis der Knochenbetrachtung stimmt wohl überein mit der Lebensweise des letztgenannten Tieres, welches den Kopf bald abwärts biegt zum Äsen, bald ihn hoch empor hebt beim Springen.

Ich möchte deshalb hier auch noch aus meinen Protkollen über die Bewegungsmöglichkeiten in der Wirbelsäule von Macropus dasjenige anführen, was sich auf die Halswirbelsäule bezieht. Ich hatte zweimal Gelegenheit zu derartigen Beobachtungen an frischen Tieren, einmal im Jahre 1907 und einmal 1909. Über den zweiten Fall habe ich folgendes aufgezeichnet.

Am unteren Ende der Halswirbelsäule besteht eine ungeheuer starke Tendenz zu federnder dorsaler Aufbiegung, so daß die Halswirbelsäule, vom Kopf befreit und sich selbst überlassen, um mehr als 90° gegen die Brustwirbelsäule aufwärts bzw. rückwärts gebogen wird, obwohl dieses Tier kein Nackenband besitzt. Diese Biegsamkeit ist an allen Halswirbeln vorhanden, ist jedoch an der Verbindung des letzten derselben mit dem ersten Brustwirbel besonders stark. Eine gleiche Biegsamkeit erhält sich auch an den beiden ersten thorakalen Verbindungen, läßt aber dann nach. — Seitliche Biegsamkeit ist an allen Halswirbeln vorhanden, jedoch gleichfalls an der Verbindung des letzten mit dem 1. Brustwirbel am stärksten. — Drehung fehlt.

Maße der Wirbelkörper.

Die Höhen sind gemessen an der ventralen Seite, jedoch nicht an der ventralen Fläche; Präzisionswert können die Maße nicht haben wegen der gerundeten Kanten. Außerdem waren die Epiphysen abgefallen und mußten erst wieder angeklebt werden, wodurch auch leichte Beeinträchtigungen entstanden sein können. Bei *t.* 4 und *t.* 11 ist die Höhe nicht angegeben, weil bei *t.* 4 die obere und bei *t.* 11 die untere Epiphyse verloren gegangen

Maße der Wirbelkörper.

	Höhe	Breite	Dicke
c. 3	7·3 mm	7·5 mm	5·5 mm
c. 4	7 ,,	7·4 ,,	5·2 ,,
c. 5	6·9 ,,	7·3 ,,	5·1 ,,
c. 6	7·3 ,,	7·7 ,,	5 ,,
c. 7	7·2 ,,	8·8 ,,	5 ,,
t. 1	8 ,,	7·3 ,,	5·6 ,,
t. 2	8·7 ,,	8·2 ,,	5·6 ,,
t. 3	8·8 ,,	8·3 ,,	6 ,,
t. 4	—	9·4 ,,	6·5 ,,
t. 5	9·6 ,,	9·5 ,,	7·4 ,,
t. 6	9·2 ,,	10·2 ,,	7·7 ,,
t. 7	9·8 ,,	10·8 ,,	8 ,,
t. 8	9·8 ,,	11·4 ,,	8·5 ,,
t. 9	10·9 ,,	12·3 ,,	9 ,,
t. 10	12 ,,	13 ,,	9·3 ,,
t. 11	—	14·5 ,,	9·3 ,,
t. 12	15 ,,	14·5 ,,	9·3 ,,
l. 1	16 ,,	18.5 ,,	9·7 ,,
l. 2	18 ,,	18·4 ,,	—
l. 3	19·5 ,,	19·4 ,,	9·5 ,,
l. 4	21.8 ,,	19.7 ,,	10 ,,
l. 5	23 ,,	20.5 ,,	11·2 ,,
l. 6	22 ,,	21.4 ,,	12·1 ,,
l. 7	19 ,,	19·9 ,,	13 ,,
S.	—	22·3 ,,	11·3 ,,

war. — Die Breiten ließen sich nicht an allen Wirbeln in gleicher Weise bestimmen. An den Halswirbeln wurden die Abstände der Leisten an den kranialen Endflächen genommen. (Würden an *t.* 1 die Knöpfchen benutzt worden sein, welche hier als Rudimente der Leisten auftreten, so wäre das Maß 10 mm anstatt der 7·3 mm am Körper.) An den Brustwirbeln wurde zwischen den vorderen Ecken der Rippenpfannen gemessen; an den Lendenwirbeln die größte Breite genommen, so daß Brust- und Lendenmaße auch nicht ganz streng vergleichbar sind. Die beiden Striche innerhalb der Breitenreihe sollen darauf aufmerksam machen, daß die Zahlen innerhalb der drei Abschnitte nicht untereinander verglichen werden dürfen. — Die Dicken sind an den kranialen Endflächen gemessen. Bei *l.* 2 ist eine Lücke gelassen, weil die Epiphyse falsch angeklebt war und dadurch das Maß gefälscht wurde.

Bemerkungen über die mitgeteilten Maße.

a) Höhen. — Die Höhen der Halswirbel bleiben konstant. (Unterschieden um Bruchteile von Millimetern kann keine Bedeutung beigemessen werden.) Von *c.* 7 zu *t.* 1 findet eine Zunahme statt, und diese bleibt dann bei bis *l.* 5; zu *l.* 6 und *l.* 7 findet eine Abnahme statt. — Die Lendenwirbel sind gegenüber den Hals- und Brustwirbeln stärker begünstigt wie beim Menschen. Dazu kommt die größere Zahl der Lendenwirbel. Die Summe der Höhen der 7 Lendenwirbel ist 139·3 mm, die der 17 Wirbel von *c.* 3 bis *t.* 12 158·4 mm, also nur wenig mehr. Das gleiche fand sich beim Magus (Macacus) hecki; hier war die Summe der 7 Lendenwirbel 89·1, die der 17 Wirbel von *c.* 3 bis *t.* 12 90·4. In dem langen und infolgedessen eingezogenen Bauch der Affen tritt dieses Verhältnis in der Gesamterscheinung des Tieres zutage.

b) Breiten. — Die Breiten sind von *c.* 3 bis *c.* 6 konstant, nach *c.* 7 findet eine Zunahme statt. An den Brustwirbeln steigt die Breite konstant von *t.* 1 bis ans Ende. An den Lendenwirbeln steigt die Breite bis *l.* 6, fällt zu *l.* 7 ab, um bei *S.* wieder zuzunehmen.

c) Dicken. — Die Dicken bleiben im Halsteil konstant, nehmen sogar bei *c.* 6 und *c.* 7 eine Spur ab, steigen aber dann konstant bis *l.* 7, um bei *S.* abzunehmen.

Die Maße für sich stellen natürlich nur Rohmaterial dar, aus welchem erst durch Gruppierung, durch Vergleich, durch Verbindung mit anderen Maßen teils der gleichen Wirbelsäule, teils anderer Säulen Belehrung zu schöpfen ist. Wie man aber gruppiert, mit welchen anderen Größen man ein bestimmtes Maß in Vergleich bringt, das kann sehr verschieden sein. So

kann z. B. die Höhe eines Wirbelkörpers mit dessen Breite oder Dicke verglichen und dies durch Indizes ausgedrückt werden; es kann aber auch ebensogut diese Höhe mit der Höhe eines anderen Wirbels oder mit der Höhe der Bandscheibe, welche an den Wirbel angrenzt, oder mit der Länge des Gelenkfortsatzes verglichen werden. Keiner dieser Vergleiche ist an sich wichtiger wie ein anderer, jeder vielmehr wichtig in dem Zusammenhange, in den er gehört. Da man nun nicht alle die Vergleiche anstellen bzw. alle die Indizes bilden kann, welche möglicherweise einmal in irgendeinem Zusammenhange Wichtigkeit bekommen können (wegen Überlastung der Arbeit und Unübersichtlichkeit), so überläßt man es besser demjenigen, der für einen bestimmten Zweck irgendeine Kombination braucht, sich seinen Index selbst aus den Rohzahlen auszurechnen.

Nachdem soeben schon darauf hingewiesen wurde, daß in Beziehung auf die Höhen der Lendenwirbel gegenüber den Hals- und Brustwirbeln der Affe vor dem Menschen begünstigt ist, interessiert es, auch die Breiten in dieser Hinsicht zu vergleichen. Ich habe deshalb die Breitenmaße des 3. Brustwirbels und des 3. Lendenwirbels von einer Anzahl von Primaten in einer Tabelle zusammengestellt.

Breiten der Wirbelkörper.

	t. 3	*l.* 3	Index
Cercocebus fuliginosus . . .	8·3 mm	19·4 mm	42·8
Macacus (Magus) hecki . . .	8·8 „	18 „	48·8
Orang	22·5 „	42·4 „	53·0
Schimpanse, erwachsen[1] . .	20·2 „	38·5 „	52·5
Schimpanse, Kind[1]	17 „	32 „	53·1
Gorilla[1].	29·5 „	43·5 „	67·8
Australier	26·3 „	40·9 „	64·3
Togoneger.	27 „	48 „	56·2

Ordnet man nach den Indizes, so erhält man folgende Reihenfolge: Cercocebus, Macacus, Schimpanse und Orang, Neger, Australier, Gorilla. D. h. auf *l.* 3 als Einheit bezogen, ist *t.* 3 beim Cercocebus am schmalsten und beim Gorilla am breitesten; oder umgekehrt, auf *t.* 3 als Einheit bezogen, ist *l.* 3 beim Cercocebus am breitesten und beim Gorilla am schmalsten.

Hierbei drängt sich eine Bemerkung auf über die übliche statische Betrachtung der Wirbelsäule des Menschen. Es wird ganz allgemein gesagt, die Wirbelkörper des Menschen werden nach obenhin allmählich schwächer im Verhältnis zu der in dieser Richtung abnehmenden Belastung. Diese

[1] Beim Schimpanse und Gorilla wurde *l.* 2 genommen, da diese 13 rippentragende und nur 4 lumbale Wirbel haben.

Vorstellung ist scheinbar zwingend, und auch ich habe es viele Jahre lang ohne Bedenken in dieser Weise vorgetragen. Schließlich sind mir aber doch durch die vergleichend anatomischen Tatsachen Zweifel gekommen, ob eine so einfache Formel zulässig sei. Beim Affen nämlich sind die Lendenwirbel gegenüber den Brust- und Halswirbeln noch mehr begünstigt wie beim Menschen, obwohl die Art, wie die Wirbelsäule der Affen beim Gehen, Laufen, Sitzen, Springen, Hängen verwendet wird, auf eine so einfache statische Betrachtung in keiner Weise hinführt. — Ich erinnere auch an dasjenige, was ich über die Wirbelsäule des Straußes mitgeteilt habe.[1]

Gelenkfortsatzwinkel.

Definition. — Setzt man die Flächen der beiden Gelenkfortsätze eines Paares bis an die Medianebene heran fort, so schneiden sie sich dort unter einem Winkel. Diesen Winkel, von welchem ich schon in einer ganzen Anzahl von Arbeiten gesprochen habe, pflege ich als „Gelenkfortsatzwinkel" zu bezeichnen.

Derselbe kann entweder nach der dorsalen oder nach der ventralen Seite offen sein. Danach haben wir zwei Typen, den „Radiustypus" und den „Kreisbogentypus".

Der Radiustypus hindert Drehung, der Kreisbogentypus gestattet sie.

Stehen die beiden Gelenkflächen in einer Ebene oder — anders ausgedrückt — beträgt der Winkel 180°, so haben wir den „Indifferenzwinkel" vor uns, weil er zwischen dem Radiustypus und dem Kreisbogentypus in der Mitte steht. Der Indifferenzwinkel kann aber doch Drehung entweder hindern oder gestatten, je nachdem die beiden Flächen weiter voneinander entfernt oder einander angenähert sind.

Weiter ist zu sprechen von einem „Mischtypus". Es kommt nämlich vor, daß eine Gelenkfläche ein Kreisbogenstück, und daran angesetzt ein radiär gestelltes Stück hat.

Endlich gibt es noch einen „unentschiedenen Typus". Dieser findet sich zuweilen an der kaudalen Seite des 12. Brustwirbels des Menschen, wo eigentlich schon Radiustypus herrschen sollte, wenn nämlich das laterale Stück der Gelenkfläche nicht ordentlich ausgebildet, nicht recht auf den Processus mammillaris herumgeführt ist. Die Unentschiedenheit zeigt sich auch darin besonders, daß nicht allzu selten an dieser Stelle die rechte und linke Seite differieren.

Methode. — Zur Bestimmung des Winkels benutze ich einen besonderen Winkelmesser mit einem graduierten Halbkreis, einem festen und

---

[1] *Dies Archiv.* 1915. Anat. Abtlg. S. 220.

einem beweglichen Schenkel, welchen ich in zwei Ausführungen, einer größeren und einer kleineren zur Verfügung habe (Fig. 4). Der Apparat ist durch Herrn Oehmke angefertigt.

Zur Feststellung der Tatsache, daß der Gelenkfortsatzwinkel bald nach hinten, bald nach vorn offen ist, bedarf es natürlich nicht der Messung; dies kann man mit bloßem Auge sehen. Diese Tatsache ist daher auch nicht unbekannt, wenn auch nicht so nachdrücklich betont, wie ich es hier tue und schon in früheren Arbeiten getan habe.

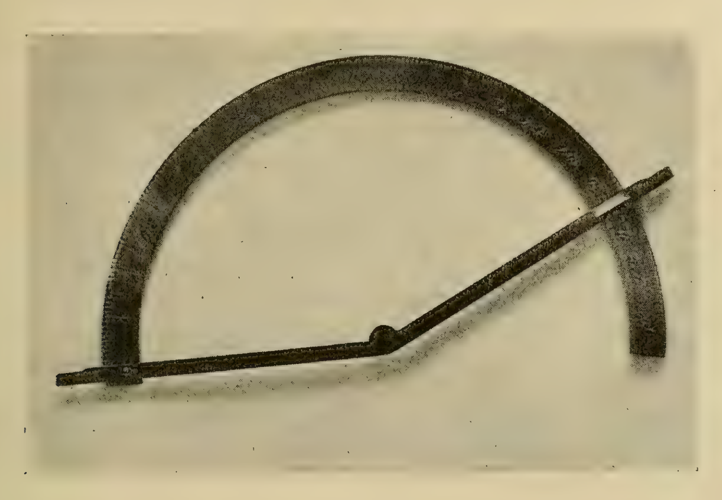


Fig. 4.

Die weitere Tatsache, daß überall da, wo Radiustypus besteht, Drehung ausgeschlossen, und nur dort, wo Kreisbogentypus besteht, Drehung gestattet ist — was ja für ein mechanisch geschultes Auge ohne weiteres selbstverständlich hätte sein können —, wurde von mir nicht an den Knochen abgelesen, sondern in allen Fällen durch Ausprobieren an der frischen Wirbelsäule festgestellt.

Die dritte Tatsache, daß — abgesehen von einigen Schwänzen (Megalobatrachus, Alligator, Vögel) und abgesehen von der Atlas-Epistropheusverbindung der Reptilien und Vögel — sich bei allen Wirbeltieren von den Amphibien aufwärts und diese eingeschlossen nur Radiustypus findet mit Ausnahme der Brustwirbelsäule der Säugetiere, welche durch den Kreisbogentypus ausgezeichnet sind, ist von mir erst im Laufe der Untersuchungen, die sich über Jahre hinziehen, gefunden worden.

Damit soll nun durchaus nicht gesagt sein, daß die Gelenkfortsätze keine andere Beziehung haben als die auf Drehung; aber es ist mit letzterer

doch eine Handhabe geboten, um in das komplizierte Problem der Gelenkfortsätze auch deduktiv einzudringen. Diese besteht in der Frage: wie müßten die Gelenkflächen an jedem einzelnen Wirbel optimal gestellt sein, wenn sie nichts anderes zu tun hätten, als Drehung entweder zu hindern, oder völlig ungehindert frei zu lassen.

Dies läßt sich durch Konstruktion leicht feststellen unter Benutzung des Abstandes der Mittelpunkte der beiden Gelenkflächen eines Paares und des dazu gehörigen Drehungsradius, d. h. des Abstandes von der Mitte des Gallertkernes der Bandscheibe zu den Mittelpunkten der Gelenkflächen.

Deckt sich der konstruierte Winkel mit dem gemessenen Winkel, dann zeigt der letztere die Beziehung auf Drehung in reiner Form. Decken sich dagegen beide Winkel nicht, so ist daraus zu schließen, daß noch ein anderer Faktor bzw. noch mehrere andere Faktoren vorhanden sind, welche mitbestimmend auf die Größe der Winkel einwirken. Wir haben aber dann an der Differenz der beiden Winkel ein genaues Maß, welches die Größe dieses anderen Faktors bzw. dieser anderen Faktoren anzeigt.

Da diese Gesichtspunkte in den Erörterungen über die Wirbelsäule bisher noch nicht klar herausgearbeitet sind, so will ich sie an einem besonders günstigen Beispiel erläutern, an der Halswirbelsäule von Macropus rufus.

Halswirbelsäule von Macropus rufus.

	Breite	Gel.-Forts.-Abst.	Radius	gem. W.	konstr. W.
c. 3.	14 mm	17 mm	13 mm	166°	85·5°
c. 4.	15 ,,	18·5 ,,	13·5 ,,	138°	86°
c. 5.	14·5 ,,	20 ,,	14 ,,	125°	89·5°
c. 6.	14·5 ,,	20 ,,	14·5 ,,	125°	85°
c. 7.	15 ,,	20 ,,	15 ,,	122°	81°
t. 1.	18 ,,	19·5 ,,	14 ,,	104°	86°

Dabei bedeutet „Breite" die Breite des Wirbelkörpers, d. h. den Abstand zwischen den Kanten der beiden seitlichen Leisten an den oberen Endflächen der Körper; „Gelenkfortsatzabstand" die Entfernung der Mittelpunkte der rechten und linken Gelenkfläche; „Radius" die Entfernung von den Mittelpunkten der Gelenkflächen zu dem Mittelpunkt des Gallertkernes der Bandscheibe, welcher sich an der Endfläche des Körpers mit großer Deutlichkeit lokalisieren läßt.

Die Halswirbelsäule von Macropus hat für unseren Zweck ganz besondere Vorteile. Diese sind:

a) Die Breiten der Wirbelkörper sind an allen Wirbeln fast gleich.

b) Die Abstände der Gelenkfortsätze sind auch nicht erheblich verschieden. (Als ein akzessorischer, die Unterschiede erklärender Umstand kann

die verschiedene Weite des Foramen vertebrale genannt werden, welche bei *c.* 3 11 mm, bei *c.* 5 13 mm beträgt. Dadurch erklärt sich leicht sowohl die größere Breite des Körpers wie der größere Abstand der Gelenkflächen bei *c.* 5.)

c) Die Radien sind auch nicht wesentlich verschieden.

d) Die Reihe der gemessenen Winkel zeigt eine starke Bewegung, nämlich von 166° bis 104°, also 62°.

e) Diese Bewegung ist eine einsinnige, das Maximum steht an dem einen, das Minimum an dem anderen Ende.

f) die Reihe schließt bei *t.* 1 ab mit dem Minimum von 104°, also um 76° vom Indifferenztypus (180°) entfernt. Und da der Kreisbogentypus bei *t.* 2 mit 100°, also um 80° von 180° entfernt, anfängt, so besteht zwischen *t.* 1 und *t.* 2 ein Unterschied von 156°, also eine überaus scharfe Scheidung des Radiustypus vom Kreisbogentypus bzw. des zervikalen vom thorakalen Typus.

Konstruiert man nun die „reinen" Winkel, wobei ich mich auf *c.* 3 und *c.* 7 beschränke, so erhält man die in der Tabelle beigeschriebenen Zahlen von 85·5° und 81°, die untereinander nicht wesentlich differieren. Dagegen sind die gemessenen Zahlen, 166° für *c.* 3 und 122° für *c.* 7, um nicht weniger wie 44°, d. h. um einen halben rechten Winkel voneinander verschieden; keine der beiden Zahlen deckt sich mit dem konstruierten Wert, *c.* 7 kommt ihm aber viel näher. Bei *c.* 3 ist also der „reine Typus" um 80·5°, bei *c.* 7 ist er um 41° durch unbekannte komplizierende Einflüsse „gefälscht".

In konstruktiver Hinsicht ist noch folgendes hinzuzufügen: Wenn aus irgendeinem (zunächst nicht näher bestimmbaren) Grunde die Gelenkflächen des Radiustypus weiter voneinander abstehen, so muß der Winkel größer, und wenn sie näher beieinander stehen, kleiner sein; umgekehrt, wenn beim Kreisbogentypus die Gelenkflächen weiter voneinander abstehen, so muß der Winkel kleiner, wenn sie näher beieinander stehen, größer sein. Hierfür werden wir beim Cercocebus in den tatsächlich gemessenen Winkeln und Abständen eine schöne Bestätigung finden.

Ich gebe nun die Gelenkfortsatzwinkel des Cercocebus in Form einer Tabelle (s. Tabelle S. 30).

Die beiden Striche in der Tabelle machen auf die Trennung der drei Abschnitte, des zervikalen, thorakalen und lumbalen Typus aufmerksam und darauf, daß in dem ersten und dritten Abschnitt der Winkel nach der dorsalen, in dem zweiten Abschnitt nach der ventralen Seite offen ist.

Gehen wir nun die Reihe durch:

Im Halsabschnitt findet ein Anstieg statt bis zu *c.* 5, dann ein Abfall bis zum Schluß bei *t.* 1. — Im thorakalen Abschnitt liegt das Minimum am

Gelenkfortsatzwinkel von Cercocebus.

c. 3	128·5°
c. 4	150·5°
c. 5	159°
c. 6	158°
c. 7	153·5°
t. 1	142·5°
t. 2	76°
t. 3	81·5°
t. 4	89°
t. 5	111°
t. 6	111°
t. 7	119°
t. 8	119°
t. 9	141°
t. 10	159°
t. 11	61°
t. 12	55·5°
l. 1	68°
l. 2	90°
l. 3	90°
l. 4	88°
l. 5	77°
l. 6	82°
l. 7	71°
S.	92°

Anfang und es findet bis zum Schluß bei *t.* 10 eine dauernde Zunahme statt. — In der lumbalen Reihe ist ein dauerndes Schwanken bemerkbar: Abfall, Anstieg, Abfall, Anstieg, Abfall, Anstieg. Fast scheint es, als solle dadurch der Wert solcher Messungen überhaupt ad absurdum geführt werden. Doch werde ich auf diesen Abschnitt der Reihe noch einmal zurückkommen bei der Betrachtung der Abstände der Mittelpunkte der kranialen Gelenkflächen.

Ich will nun den Halsteil dieser Reihe mit dem einiger anderer Primaten vergleichen, und ich stelle die Zahlen für Macropus wieder dazu, nicht nur wegen der oben hervorgehobenen ausgezeichneten Eigenschaften derselben, sondern auch weil die in ihnen hervortetende Bewegung von der bei den Primaten abweicht, ja z.T. im Gegensatz dazu steht (s. Tab. S. 31).

Diese Tabelle muß nun daraufhin betrachtet werden, was sich aus derselben entnehmen läßt, bzw. ob überhaupt zu hoffen ist, daß aus derartigen Zahlen etwas Bestimmtes zu entnehmen ist. Dabei muß ich aber wieder daran erinnern, daß die Messung vielfach wegen der Eigenschaften des Materials mehr oder weniger unsicher, oft sogar sehr unsicher ist. Wenn die Gelenkflächen gewölbt oder gar unregelmäßig höckerig, ihre Ränder wulstig oder aufgebogen sind, so verliert die Winkelbestimmung sehr an Zuverlässigkeit. Dies ist nicht etwa eine Ausflucht, sondern jeder wird diese unangenehme Erfahrung machen, der sich praktisch mit der Aufgabe beschäftigt. Bei

Gelenkfortsatzwirbel an einigen Halswirbelsäulen.

	c. 3	c. 4	c. 5	c. 6	c. 7	t. 1	t. 2
Macropus rufus . . .	166°	138°	125°	125°	122°	104°	
Cercocebus fuliginosus	128·5°	150·5°	159°	158°	153·5°	142·5°	
Magus (Macacus) hecki	126·5°	158°	165°	165°	155°	180°	
Orang A 102. 06. II d. Zool. Museums . .	143°	140°	113°	103°	120°		
Schimpanse[1]	108°	152°	140°	140°	150°	165°	
Schimpanse[2]	129°	146·5°	159°	143°	150°		
Schimpanse[3]	91°	129°	151°	160°	164°	180°	
Schimpanse, Kind[4] .	126°	144°	161°	169°	176°	180°	
Gorilla[5].	150°	130°	155°	152°	146°	158°	180°
Australier[6]	149°	162°	180°	180°	180°		
Togoneger[7]	170°	163°	157°	173°	180°		

dem untersuchten Gorilla habe ich z. B. die Messung 4mal gemacht und jedesmal mit anderem Ergebnis. — Es wird nichts anderes übrig bleiben, sobald man sich einmal davon überzeugt haben wird, daß die Winkelbestimmungen überhaupt wichtig sind, als möglichst von einer Spezies immer mehrere Fälle zu untersuchen und diejenigen, deren Gelenkfortsätze eine unregelmäßige höckerige Beschaffenheit haben, auszuscheiden.

Treten wir nun an unsere Tabelle heran.

Von Macropus wurde schon gesprochen. Ich wiederhole, daß seine Reihe mit dem Maximum beginnt und mit dem Minimum endigt.

Im geraden Gegensatz dazu steht das Schimpansekind: es beginnt mit einem Minimum von 126° bei *c.* 3 und endigt mit einem Maximum von 180°, d. h. steigt auf bis zum Indifferenzwinkel bei *t.* 1.

Ihm schließt sich der Tschego durchaus an in der Bewegung seiner Reihe. (Ich bemerke, daß bei diesem die Winkel nicht bestimmt wurden an den kranialen Fortsätzen, für welche sie angegeben sind, sondern an den kaudalen Fortsätzen der vorausgehenden Wirbel; und daß für die Bestimmung nicht das oben beschriebene Instrument benutzt wurde, welches ich damals — 1909 — noch nicht besaß, sondern der Fürstsche Goniometer.)

Der erste erwachsene Schimpanse zeigt keine so große Regelmäßigkeit. Zwar beginnt er auch mit dem Minimum und endigt mit dem Maximum.

---

[1] Aus Kamerun; A. 63, 04 des Berliner zool. Museums.

[2] „Moritz" des Berliner zool. Gartens.

[3] Tschego aus Bipindi, Kamerun, Zenker coll., Nr. 7536 des zool. Museums.

[4] Weibl. Schimpanse von 74 cm Scheitel-Steißlänge aus Kamerun.

[5] Großes Männchen aus Kamerun, durch Dr. Seibert dem Berliner anat. Institut geschenkt.

[6] 1905, 35 der Samml. des Berliner anat. Instituts.

[7] 36jähriger sehr kräftiger Mann mit ungewöhnlich schöner Muskulatur.

Aber es tritt gleich an zweiter Stelle störend eine hohe Zahl auf und das Maximum ist nicht wie bei den anderen 180°, sondern nur 165°. Doch war an *t.* 1 der eine kraniale Gelenkfortsatz durch spondylitische Erkrankung verändert, und das Maß ist daher unzuverlässig. Auch „Moritz" zeigt keine Regelmäßigkeit.

Als dritten möchte ich den Cercocebus anführen. Er steigt bis *c.* 5 an, gleicht also darin dem Schimpanse. Dann aber fällt er ab bis zum Schluß, verhält sich also in dieser Beziehung nicht primatisch, sondern tierisch.

Durch den Anblick dieser Reihen hat unsere Betrachtung eine gewisse Richtung erhalten, welcher ich folgen will, auf die Gefahr hin, damit nicht ganz das Richtige zu treffen.

Bei den untersuchten Exemplaren des Orang und Gorilla zeigte sich unter der Messung, daß ihre Gelenkfortsätze für die Anlegung des Instrumentes ungünstig gestaltet waren. — Der Orang zeigte das Maximum am Anfang der Reihe und das Minimum bei *c.* 6; er erhebt sich zwar bei *c.* 7 wieder, bleibt aber doch hinter dem Maximum zurück und um 60° von 180° entfernt, zeigt also im ganzen tierischen Typus. — Beim Gorilla ist die niedrige Zahl bei *c.* 4 störend, sonst bleibt das Maß vom Anfang der Reihe bis *t.* 1 im wesentlichen konstant, hebt sich aber dann doch noch bei *t.* 2 auf den Indifferenzpunkt.

Von den beiden mitaufgenommenen menschlichen Wirbelsäulen zeigt die des Australiers den gleichen Anstieg wie der Schimpanse von einem anfänglichen Minimum; doch wird der Indifferenzwinkel von 180° schon bei *c.* 5 erreicht und bis *c.* 7 beibehalten. — Der Togoneger zeigt einen leichten Abfall bis *c.* 5, dann wieder Anstieg bis *c.* 7 mit gleichfalls 180°.

Ich möchte nicht weiter auf die Erörterung eingehen, da das vorliegende Material noch zu beschränkt ist. Ich hoffe aber doch, daß der Anblick dieser Reihen geeignet ist, die Zuversicht zu stärken, daß die Beschäftigung mit dieser Aufgabe Gewinn verspricht.

Abstände der Mittelpunkte der kranialen Gelenkflächen.

Methode. — Vor der Messung wurden die Mittelpunkte durch schwarze Pünktchen bezeichnet; dies wurde von freiem Auge ausgeführt, was natürlich kleine Ungenauigkeiten nicht ausschließt. Doch ist Bestimmung der Mittelpunkte durch Ausmessung unmöglich, da die Ränder der Flächen durch viele Unregelmäßigkeiten entstellt sind. Wegen dieser Ungunst des Objektes, welche nicht etwa bei diesem Cercocebus besonders stark war, sondern sich immer bei den Gelenkfortsätzen findet, darf man bei der Messung der Abstände keine Präzisionsuntersuchung erwarten, was bei der Betrachtung

der Reihe nicht außer acht bleiben darf. Der Untersucher ist hier nicht anzuschuldigen, da er auch mit größter Sorgfalt die ungünstigen Bedingungen des Objektes nicht ändern kann.

Wirbel	Maß
c. 3	15·3 mm
c. 4	17 „
c. 5	18 „
c. 6	18·5 „
c. 7	18 „
t. 1	17·5 „
t. 2	13·2 mm
t. 3	12·5 „
t. 4	12 „
t. 5	11 „
t. 6	11 „
t. 7	10·5 „
t. 8	10 „
t. 9	10·5 „
t. 10	10·5 „
t. 11	11 mm
t. 12	10 „
l. 1	11 „
l. 2	13 „
l. 3	14 „
l. 4	12·5 „
l. 5	12·5 „
l. 6	13 „
l. 7	14·5 „
S.	16·5 „

Die beiden Striche, durch welche die Reihe, in drei Abschnitte, einen zervikalen, einen thorakalen und einen lumbalen, geteilt wird, sind aus der Tabelle der Gelenkfortsatzwinkel übernommen.

Betrachten wir zunächst die Tabelle ganz für sich mit Rücksicht auf die innerhalb derselben wahrnehmbare Bewegung, ohne Rücksicht auf andere Beziehungen, so ergibt sich folgendes: der zervikale Abschnitt hat sein Maximum bei *c.* 6 und fällt von da nach beiden Seiten ab. — Der thorakale Abschnitt beginnt mit einem Maximum, welches jedoch geringer ist als das Minimum des zervikalen Abschnittes, und hat sein Minimum am Schluß bei *t.* 7 bis *t.* 10. — Der lumbale Abschnitt zeigt eine höchst unregelmäßige Bewegung: Abfall, Anstieg, Abfall, Anstieg.

Gehen wir nun darauf aus, Beziehungen zu anderen Maßen zu suchen, so ist in erster Linie der Vergleich mit der Breite der Wirbelkörper anzustellen. Caeteris paribus muß ja bei einem breiten Wirbel auch der Abstand der Gelenkfortsätze größer sein. Wenn also ein konstantes Verhältnis zwischen beiden Maßen innerhalb einer Wirbelsäule nicht besteht, so sind wir aufgefordert, nach Gründen für die Inkonstanz zu suchen.

Um nicht die ganzen früher gegebenen Zahlenreihen nebeneinander zu stellen, greife ich aus jeder 4 Zahlen heraus.

	Breite der Wirbelkörper	Abstand der Mittelpunkte d. Gelenkflächen
c. 3	7·5 mm	15·3 mm
t. 2	8·2 ,,	13·2 ,,
t. 7	10·8 ,,	10·5 ,,
t. 10	13 ,,	10·5 ,,

Diese kleine Tabelle zeigt, daß bei *c.* 3 der Abstand der Gelenkflächen doppelt so groß ist wie die Breite des Wirbelkörpers; bei *t.* 2 verhalten sich beide zueinander etwa wie 3 : 2; bei *t.* 7 sind sie gleich; bei *t.* 10 ist der Abstand der Gelenkflächen geringer als die Körperbreite.

Diese Zahlen zeigen eine weitgehende Unabhängigkeit des Abstandes der Gelenkfortsätze von der Wirbelkörperbreite, und zwar lehren sie dreierlei:

a) daß innerhalb der zervikalen Reihe der Abstand verhältnismäßig groß und innerhalb der thorakalen Reihe verhältnismäßig klein ist;

b) daß von den beiden Abschnitten, welche Radiustypus haben, der zervikale sich durch große, der lumbale durch kleine Abstände auszeichnet;

c) daß innerhalb des thorakalen Typus das Verhältnis zwischen Abstand des Gelenkfortsatzes und Wirbelkörperbreite auch nicht konstant, sondern am Anfang die Wirbelkörperbreite gering und der Abstand der Gelenkflächen groß ist, am Ende der Reihe dagegen die Wirbelkörperbreite zu- und der Abstand der Gelenkflächen abgenommen hat.

Fassen wir diese unter c) genannte Erscheinung für sich ins Auge, so wird sie verständlich, wenn wir sie mit der Tabelle der Gelenkfortsatzwinkel vergleichen. Innerhalb der thorakalen Reihe findet sich das Maximum des Winkels bei *t.* 10, das Minimum des Abstandes bei *c.* 7 bis 10, also an gleicher Stelle. Vergleichen wir nun damit den zervikalen Abschnitt der Reihe, so findet sich das Maximum des Winkels bei *c.* 5, das Maximum des Abstandes bei *c.* 6, also ungefähr an gleicher Stelle.

Wir finden hier also, was weiter oben (siehe S. 29) theoretisch gefordert war, daß innerhalb des Radiustypus das Maximum des Winkels mit dem Maximum des Abstandes und innerhalb des Kreisbogentypus Maximum des Winkels mit Minimum des Abstandes zusammenfallen muß.

Innerhalb des lumbalen Abschnittes war weder bei den Winkeln noch bei den Abständen ein gleich einfacher Gang der Reihe bemerkbar (s. oben S. 30 und S. 33). Es zeigt sich nun aber doch, wenn man beide Reihen, die der Winkel und die der Abstände nebeneinander legt, daß sie sich sehr ähnlich verhalten, daß sie in dem mehrfachen Anstieg und Abfall im allgemeinen parallel laufen. Ob man daraus die Hoffnung schöpfen darf, auch

derartig komplizierte Verhältnisse in Zukunft noch einmal analytisch zu beherrschen, oder ob es sich um ein zufälliges Zusammentreffen handelt, vermag ich nicht zu entscheiden.

Maße der Gelenkflächen.

Es gibt kein Maß an den Wirbeln, welches gleich unsicher wäre, wie das der Gelenkflächen, sowohl was die Länge wie die Breite betrifft. Dies äußert sich schon darin, daß außerordentlich häufig die Maße für die rechte und linke Seite variieren. Man braucht das Objekt nur zu betrachten, um als exakter Forscher die Lust an der Beschäftigung mit demselben zu verlieren. Dennoch können wir es nicht umgehen, auch diesen Gegenstand in den Kreis unserer Betrachtung zu ziehen, da unzweifelhaft wichtige Verbindungen zwischen der Größe dieser Fortsätze und der Mechanik der Wirbelsäule bestehen müssen.

Da, wie gesagt, zwischen der rechten und linken Seite sehr häufig Differenzen bestehen, so gebe ich sogleich eine „ausgeglichene" Tabelle, doch stelle ich die Rohzahlen für die rechte und linke Seite gern zur Verfügung. Der Ausgleich ist nicht einfach mechanisch dadurch erfolgt, daß immer das Mittel zwischen dem rechten und dem linken Maß genommen wäre,

Maße der kranialen Gelenkflächen.

	Länge	Breite
c. 3	5·3 mm	4·2 mm
c. 4	6 ,,	4·5 ,,
c. 5	6 ,,	4·5 ,,
c. 6	5·8 ,,	4·5 ,,
c. 7	5 ,,	4·4 ,,
t. 1	4·5 ,,	5·3 ,,
t. 2	5·3 mm	4·5 mm
t. 3	5·5 ,,	4 ,,
t. 4	6 ,,	4 ,,
t. 5	5 ,,	4 ,,
t. 6	5·2 ,,	3·5 ,,
t. 7	5 ,,	3 ,,
t. 8	4·8 ,,	3·5 ,,
t. 9	5·5 ,,	3·5 ,,
t. 10	5.4 ,,	4 ,,
t. 11	5·3 mm	4·2 mm
t. 12	5·5 ,,	4·5 ,,
l. 1	6·4 ,,	5 ,,
l. 2	6·4 ,,	5·5 ,,
l. 3	6·3 ,,	5·7 ,,
l. 4	6·2 ,,	6 ,,
l. 5	6·3 ,,	5·6 ,,
l. 6	6·6 ,,	6 ,,
l. 7	7·5 ,,	5·9 ,,
S.	7·5 ,,	6·5 ,,

worin durchaus keine „Gerechtigkeit“ liegen würde, da die Ungleichheit beider Seiten ganz offenkundig oft auf einer einseitigen atypischen Verkleinerung oder Vergrößerung beruht. Ich habe vielmehr die Zahlen, falls nicht die rechte und linke Seite gleich waren, so ausgewählt, daß sie in die Reihe paßten, mich aber dabei niemals von den Werten entfernt, welche in den gemessenen Zahlen enthalten waren.

Die beiden Striche sind auch hier wieder aus der Tabelle der Gelenkfortsatzwinkel übernommen.

Wie man bei der Durchsicht der beiden Reihen sieht, ist die Bewegung innerhalb derselben keine sehr erhebliche. Durch einen Zufall beginnt jeder der drei Abschnitte mit einer Länge von 5·3 mm. In dem lumbalen Abschnitt wächst diese bis auf 7·5 mm. Es ist ja auch natürlich, daß mit der Zunahme der Höhe der Wirbelkörper auch die Länge der Gelenkfortsätze sich steigert. Aber das Bemerkenswerte ist doch, wenn man das Verhältnis beider Maße genauer ins Auge faßt, wie sehr die lumbalen Gelenkfortsätze hinter den Körpern zurückbleiben. Ich will dies durch einige Zahlen belegen.

	Höhe der Körper	Länge der Gelenkflächen
c. 4	7 mm	6 mm
t. 7	9·8 „	5 „
l. 5	23 „	6·3 „

So wenig einladend die Maße der Gelenkflächen für weitere Betrachtungen sind, so hebt sich doch eine Tatsache als sehr bemerkenswert hervor, nämlich die, daß *t.* 1 das Minimum der Länge (4·5 mm) der ganzen Reihe und zu gleicher Zeit das Maximum (5·3 mm) der Breite wenigstens des zerviko-thorakalen Abschnittes der Reihe zur Anschauung bringt.

Diese Tatsache gewinnt an Bedeutung durch Vergleich mit einem Australier. 1905·35 der Anat. Sammlung, bei welchem das Minimum der Länge der Gelenkflächen (8 mm) bei *c.* 7 und *t.* 1 und das Maximum der Breiten sämtlicher Gelenkflächen bei *t.* 1 gelegen war. Auch beim jugendlichen Schimpanse zeigte sich das Maximum der Breite der Gelenkflächen bei *t.* 1, wenigstens für den zerviko-thorakalen Abschnitt der Reihe. Bei dem 36 jährigen Togoneger war zwar bei *t.* 1 das Maximum der Breite nicht erreicht, aber es schloß sich an die rechte kraniale Gelenkfläche noch an der Rückseite des Querfortsatzes ein schmaler überknorpelter Streifen an, welcher die gleiche Tendenz andeutete. Es scheint mir also jedenfalls, daß dieser Stelle, d. h. der Grenze von Nacken- und Brustregion, mit Rücksicht auf die Gelenkfortsätze eine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden ist.

Nachtrag zu den Untersuchungen über Obst.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Im Sommer 1916 wurden von Früchten als Ergänzung meiner früheren Versuche noch Erdbeeren und Kirschen untersucht; die als Volksnahrungsmittel nicht unwichtigen Pflaumen verschwanden, noch ehe entsprechendes Material zu haben war, durch die Beschlagnahme restlos aus dem Verkehr. Die Analyse geschah in der gleichen Weise wie bei den früher mitgeteilten Ergebnissen.

a) Die Gartenerdbeeren.

Sie entbehren der deckenden Außenhaut und wären dadurch ärmer an Zellmembran; dafür enthalten sie eine mehr oder minder große Menge von Samen im Fruchtfleisch. Die Samen lassen sich nur schwer von letzteren trennen und werden daher mit verzehrt.

Die Zusammensetzung der Erdbeeren ergibt sich aus folgender Tabelle:

Gartenerdbeeren.

100 Teile Trockensubstanz:

Asche	6·13	
Organisch	93·87	
Pentosen	7·92	= 6·99 g Pentosan
N	0·87	= 5·44 Rohprotein
Zellulose	6·14	
Zellmembran	13·55	mit 3·32 g Pentosan
Restsubstanz	6·09	
Fett	1·32	
Verbrennungswärme	374·6	

In 100 Teilen Zellmembran (+ Kernen) sind:

Zellulose	45·31
Pentosan	20·54
Rest	30·15

Unter den Obstsorten kann die Erdbeere immerhin noch als N-reich gelten, doch ist hier zu bedenken, daß ein Teil des N in den Kernen liegt.

Aus einer größeren Menge Erdbeeren einer anderen Probe habe ich die Kerne rein abgetrennt durch Ausziehen mit Wasser, kurzes Erwärmen in NH_3 und Filtrieren, Auswaschen, Ausziehen mit Alkohol und Trocknen. Man reibt dann zwischen einem trockenen Tuch und schüttelt die Kerne ab.

In 100 Teilen Kernen sind:

Asche	3·71
Organisch	96·30
N	2·67
Pentosan	14·60

Die Kerne sind also dreimal so N-reich wie die ganze Frucht und liefern auch einen großen Teil der in der Frucht enthaltenen Pentosane. Nach den Zusammenstellungen bei König (Bd. II, S. 956) sind in 100 Teilen Trockensubstanz deutscher Erdbeeren 12 Teile Rohfaser + Kerne. Die Kerne bleiben bei meiner Untersuchung mit den Zellmembranen zusammen und machen beide nur 13·55 Prozent der Trockensubstanz aus. Es kann sein, daß bei dem Zerreiben der Frucht in der Reibschale auch einzelne Samen verletzt wurden und dann ihren Inhalt eingebüßt haben. Die Zellmembran war N-haltig, was nur auf ihren N-Gehalt an Kernen zurückgeführt werden kann. Auf 100 Teile trockene Erdbeeren entfielen 0·41 g solches N. Daraus folgt, daß von den 0·87 Prozent N der Trockenrückstände 0·41 auf Kern-N entfallen und auf verdaulichen N nur 0·46 Prozent.

Von dem Gesamt-N der Erdbeere war 87·7 Prozent Protein N (inkl. Kerne) und 12·31 Prozent Amid-N, da die Hälfte des N aber überhaupt auf Kerne entfällt, so ist von dem Fruchtfleisch-N etwa die doppelte Menge, wie eben angegeben, Amid-N.

Eine Berechnung der Kerne läßt sich nicht ausführen, weil die Analyse der letzteren nicht in derselben Probe ausgeführt worden ist und je nach der Größe der Kerne der N-Gehalt schwankend ist. Jedenfalls bestand die Hauptmasse der „Zellmembran" aus den Kernen. Zu Ätherextrakt und Kalorienbestimmung wurde bei niederer Temperatur im Faustschen Apparat getrocknet, die frischen Erdbeeren hatten 10·88 Prozent Trockensubstanz.

b) Helle Kirschen.

Die Ware bestand aus 84·6 genießbaren Teilen, 13·4 Teilen Kernen und 1·9 Teilen Stielen. Die Kerne enthalten noch Fruchtfleisch; von 100 Teilen der beim Genuß abfallenden Kerne sind nur 57·7 reine Kern-

substanz. Das frische Fruchtfleisch mit der Haut hatte 15·48 Prozent Trockensubstanz. Die Zusammensetzung der Trockensubstanz war:

Kirschen.

Fruchtfleisch + Haut.

100 g Trockensubstanz:

Asche	2·84 Prozent
Organisch	97·16
Pentosen	5·56 = 4·91 Pentosan
N	0·85 ≙ 7·50 Rohprotein
Zellulose	2·65
Zellmembran	10·31 mit 2·38 g Pentosan
Restsubstanz	5·28
Fett	1·22
Verbrennungswärme .	363·0 Kal.

Die Kirschensubstanz enthält sehr wenig an Asche, der N-Gehalt, und zwar der nutzbare, ist größer als bei den Erdbeeren. Die Menge der Zellmembran ist gering, sie enthält 48·5 der gesamten Pentosane.

In 100 Teilen:

Zellulose	25·70 Prozent
Pentosan.	23·08 ,,
Rest (Lignine usw.) .	51·28 ,,

Sehr störend ist das Auftreten gallertartiger Substanzen, die, obschon gering an Menge, die Filtration ungemein erschweren. Auffallend ist hier die große Menge jener Substanzen, die weder Zellulose noch Pentosane sind.

Die Verdaulichkeit des durch Säuren aufgeschlossenen Holzmehles von Koniferen.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

I.

Mit dem Moment, in dem 1915 bekannt geworden war, daß nur mehr wenig Brotgetreide vorhanden war, die Brotkarte den äußeren sichtbaren Ausdruck dafür gab und die Behörden das Mehl mit Kartoffeln streckten, begann die Hochflut für die Propaganda aller möglichen mehr oder weniger fein zermahlenen Substanzen als Zusatzmittel für das Brotmehl. Man wollte sogar durch derartige Streckungen eine Brotmehrung für Schwerarbeiter, die anfänglich bekanntlich gar nicht besonders berücksichtigt geblieben waren, versuchen. In dieser ersten Zeit wurde auch das Friedenthalsche Strohmehl in den Handel gebracht und in landwirtschaftlichen und anderen Kreisen mit Enthusiasmus, aber ohne vorherige Prüfung aufgenommen, obschon von sachverständiger Seite gewarnt worden war.

Die unbewiesene Voraussetzung solcher Verfahren war die Annahme, daß sehr feines Zermahlen allemal den Nährwert einer pflanzlichen Nahrungsquelle zu steigern vermöge und daß dieser Gesichtspunkt gegenüber allen anderen Bedenken das Übergewicht haben müsse.

Außerdem hat man auf den eigentlichen Nährwert der verwendeten Produkte zur Zermahlung nicht geachtet und ist der bisher irrigen Meinung von der hohen Bedeutung der N-freien Extraktstoffe in der Nahrungsmittelanalyse zum Opfer gefallen. In immer steigendem Maße machte sich in der Literatur der in der Physiologie längst als unhaltbar erkannte Standpunkt geltend, ein Nährmittel kurzweg nur nach seiner chemischen Zusammensetzung als gebrauchsfähig zu beurteilen, ein Irrweg, von dem bis heute auch die halbpopuläre medizinische Literatur nicht abzubringen ist.

Von mancher Seite hat man endlich eingesehen, daß die experimentellen Untersuchungen solcher „Erfindungen" nicht entbehrt werden können, mehr oder minder umfangreich sind Experimente entstanden, die das alte Kapitel der Ausnützbarkeit der Nahrungsmittel wieder in seine Rechte einsetzten, wir verdanken ihnen eine Reihe wesentlicher Bereicherungen unserer Erkenntnis, welche für die Physiologie der Verdauung von Bedeutung bleiben werden. Als eine neue Forderung solcher Arbeiten auf dem Gebiete der pflanzlichen Nahrungsmittel habe ich die Isolierung der Zellmembranen, als besonderen Bestandteil in der Zusammensetzung vegetabilischer Nahrungsmittel aufgestellt, um damit die Gruppe der N-freien Extrakte in Unterabteilungen zu zerlegen, weiter auch die Isolierung des unverdauten Teiles der Zellmembran im Kote durchzuführen und ferner habe ich die Zusammenfassung der verdauten Nährwerte in Kalorienwerten in einer unserer heutigen Anschauung entsprechenden Form dargestellt, wie das schon früher in einer anderen Abhandlung[1] geschehen war.[2] Eine Reihe solcher Untersuchungen sind in dieser Zeitschrift (Jahrg. 1915) bereits niedergelegt worden.

Ein vielleicht nicht erwarteter Schritt im Suchen nach Ersatznahrung war wohl für die menschliche Ernährungslehre die Empfehlung von Holzmehl. Indes war der Ausgangspunkt für die Verwendung von Holzmehl nicht die Absicht in der Holzmasse eine Nahrungsquelle zu schaffen, sondern vor allem Nährstoffe, die in den verholzten Zellen mancher Fett- und „Stärkebäume" zeitweise enthalten sind, zu gewinnen, falls die verholzten Zellen verdaulich oder für Verdauungssäfte und Verdauungsprodukte durchgängig sind.

---

[1] Rubner, Der Energiewert der menschlichen Kost. *Zeitschrift f. Biologie.* 1902. Bd. XLII.

[2] Ich nehme Anlaß, an dieser Stelle auf eine Arbeit von Georg von Wendt, „Zur Frage über den Wert des physiologischen Eiweißes" (*Skandin. Archiv.* 1913. Bd. XXIX.) kurz zu erwidern. von Wendt sagt in seiner Einleitung: „Ein dem Begriff nicht gut entsprechender Name, welcher in der Terminologie aufgenommen ist und allgemeine Verwendung findet, kann unter Umständen recht irreführend wirken. So ist es z. B. mit dem von Rubner eingeführten Namen ‚Physiologischer Nutzeffekt' oder ‚physiologischer Nutzwert'. Tatsächlich ist dieser Ausdruck, wie ich ihn auch verstanden wissen will und wie ich ihn entwickelt habe, nur für die energetische Frage des Umsatzes in Gebrauch, v. Wendt ergeht sich aber des langen und breiten, daß doch auch andere Verwendungen der Nahrungsstoffe im Körper vorkämen, z. B. zur Milchbildung usw. Es ist mir nicht bekannt geworden, daß irgend jemand die Frage des physiologischen Nutzeffektes, eine rein energetische Frage, auf rein stoffliche Vorgänge in so mißverständlicher Weise übertragen hätte, und wenn das der Fall gewesen sein sollte, kann doch der Autor keine Verantwortung dafür tragen, was etwa die Unkenntnis eines Terminus technicus für Folgen hat.

Die Verdaulichkeit der Zellulose hat durch die Erweiterung der Untersuchungen auf die Zellmembran als Ganzes ein größeres Interesse gewonnen, sowohl für praktische, wie für wissenschaftliche Fragen. Zellmembranhaltige Massen sind ein großer Teil der Holzarten, denn Nährstoffe kommen nur ausnahmsweise als Einlagerungen in bestimmten Arten vor.

Bei der Untersuchung der Verdaulichkeit des Birkenholzes [1] war ich von der Voraussetzung ausgegangen, daß dasselbe Stärke als Einschlüsse enthält. Über die Möglichkeit, derartiges Material zu gewinnen, besteht nach den Untersuchungen von Haberlandt und anderen kein Zweifel. Doch war das mir zugegangene Material offenbar nicht rechtzeitig geerntet, nicht dieser Art, vielmehr so gut wie nährstoffrei. Es haben sich gelegentlich dieser Untersuchung eine Reihe bisher nicht bekannter Tatsachen über die Resorbierbarkeit des Holzes überhaupt feststellen lassen.

Einmal hat sich gezeigt, daß die Menge des Rückstandes im Darm der Fütterungsmenge solcher Zusatzstoffe proportional geht, während die Bildung von Kotstoffwechselprodukten durch das bloße Hinzufügen schwer resorbierbarer Teile nicht gesteigert zu werden braucht. Weiter hat sich erweisen lassen, daß auch pflanzliche Teile, welche als verholzte angesprochen werden, einer nicht unerheblichen Auflösung unterliegen, wenn auch die dabei zu gewinnenden Nährwerte gering sein mögen.

Die Versuche haben das interessante Ergebnis gehabt, die teilweise Resorbierbarkeit des Birkenholzes bei dem Hunde festzustellen, nachdem man bisher die Verdauung der Holzfaser beim Fleischfresser geleugnet hatte. Bemerkenswert ist auch ein Vergleich meiner Versuche am Hund und jener von Zuntz am Schaf — mit Birkenholzfütterung, welche im Resultate der Auflösung sich sehr nahe kommen. In quantitativer Hinsicht freilich ist der Nutzeffekt der Holzverdauung nach Zuntz nicht so groß, daß er die Verwendung für Fütterungszwecke am Tiere rechtfertigen würde und die von mir beobachteten Nebenerscheinungen beim Hund, d. h. die Bildung sehr harten Kotes läßt die Verwendung von Holz auch in Versuchen am Menschen geradezu als untunlich erscheinen. Aus ähnlichen Gründen ist auch die Benutzung von Friedenthalschem Strohmehl nach den Versuchen von R. O. Neumann für den Menschen mit aller Entschiedenheit abgelehnt worden.

Trotzdem sind immer wieder Mehle aus minderwertigem Material hergestellt und in den Handel gebracht worden und zu Verwendung für menschliche Ernährungszwecke gekommen. Sonst stillliegende Zementmühlen haben

---

[1] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 104.

solche Produkte in größter Menge vermahlen und im Handel wurden diese „Mehle“ auch ausgiebig zur Brotfälschung verwendet.

Manche dieser Produkte sind von seiten der Behörden als Streumehl zugelassen oder vorgeschrieben worden. Man will damit das Festkleben des Teiges auf der Unterlage verhüten.

Das Holzmehl ist als Streumehl zugelassen worden, man hat aber damit den Bäckern zugleich ein Fälschungsmittel in die Hand gedrückt, von dem einzelne oder an manchen Orten viele, wie erwähnt, einen sehr ausgedehnten Gebrauch gemacht haben. Abgesehen von den Fällen, in denen geradezu solche Streumehle in großen Mengen dem Teig selbst beigebacken wurden, haftet oft der Grundfläche des Brotes so viel Holzmehl und ähnliches auf den ersten Blick oder beim Kauen als fremde Substanz Erkennbares an, daß eine Mehlvergeudung insofern die unmittelbare Folge ist, als man dann die Rinde des Brotes einfach wegschneidet und als Abfall behandelt. Das „Sparprinzip“ hat also wahrscheinlich das Gegenteil von dem, was man erreichen will, zur Folge.

Die Hartnäckigkeit, mit der solche Mehle immer wieder als Zusätze zu Brot benützt werden, findet ihre Erklärung nicht ausschließlich etwa nur in der Gewinnsucht und im Betruge, sondern zum Teil in der falschen Beurteilung des Nutzens solcher Zusätze unverdaulicher Art zum Brote.

Diese Bestrebungen werden gestützt durch ein gewisses Vordrängen laienhafter Vorstellungen, denen man leider vielfach begegnet. Zu diesen gehört die Meinung, daß die Sättigung des Menschen auch mit unverdaulichen Substanzen ein Ziel der Nahrungsfürsorge darstelle. Es käme nur darauf an, das „Volumen“ der in den Magen gebrachten Nahrung zu vermehren. Diese Empfehlungen sind um so bemerkenswerter, als man von der Einführung nutzloser Streckungsmittel in der Landwirtschaft nichts hören will. Der Tierzüchter hat mehr eine instinktive Abneigung gegen derartige „Scheinnahrung“. Die vorübergehende Füllung des Magens kann die wahre Sättigung niemals hervorrufen, darüber täuscht man sich vielleicht einen Tag, aber der wahre Hunger kommt bald zum Durchbruch.

Es ist aus dem täglichen Leben bekannt, daß manchenorts sehr voluminöse Kost gegessen wird und demnach die Magengröße und demgemäß die Masse einer Mahlzeit sich sehr verschieden gestaltet. Zu den obligaten Gefühlen einer sättigenden Mahlzeit gehört freilich bei den einzelnen das Gefühl der Magenspannung, woran der eine oder andere gewohnheitsmäßig festhält. Gute Kost bei zu geringem Volumen hinterläßt solchen Leuten ungewohnte Gefühle. Die ersten Massenbeobachtungen machte man hierüber bei dem Feldzug in der Krim, als die Russen in Gefangenschaft gerieten und hier die konzentriertere, westeuropäische Kost erhielten; sie waren

anfänglich damit unzufrieden, obschon sie besser in physiologischer Hinsicht ernährt wurden als vorher. Man darf aber nicht glauben, mit der jedesmaligen „Magendehnung" den wirklichen Hunger, d. h. das Nahrungsbedürfnis, beseitigen zu können. Der Mensch mit zu ausgedehntem Magen gewöhnt sich ohne Schaden in ein paar Wochen an die bessere konzentriertere Kost, während das Umgekehrte bedenkliche Folgen hat. Die Gewöhnung an voluminöse Kost erfolgt langsam, bei älteren Leuten unvollkommen und unter den Folgen unzureichender Ernährung.

Ebensowenig hat die Füllung des Darmes mit unverdauten Resten irgend etwas mit dem Sättigungsgefühl zu tun.

Zur Entschuldigung des Zusatzes unverdaulicher oder schlecht verdaulicher Substanzen zu Nahrung hat man eine bisher völlig unbekannte und auch völlig unbewiesene Theorie in die Welt gesetzt, die vom Bedürfnis des Menschendarmes nach Ballast, ein Schlagwort, an das sich Fälscher und Ununterrichtete allenfalls klammern; die menschliche Ernährungslehre muß das Auftauchen solcher für einen bestimmten Zweck erdachten Behauptungen zurückweisen. Der große Ballast ist im Tierreich dort vorhanden, wo die Art des Futters solche Einrichtungen zur längeren Dauer des Aufenthaltes schwerverdaulicher Massen im Darm notwendig macht. Darüber hinaus sind die Raumverhältnisse des Darmes an sich gering und der Wert des längeren Aufenthaltes des Kotes nicht bedeutend. Das Unverdauliche häuft sich unter normalen Verhältnissen nur so weit an, daß die Auslösung der Kotausscheidung zustande kommen kann. Ballast, d. h. viel Kot bildende Nahrungsmittel haben die Wirkung, den Aufenthalt im Darm abzukürzen. Im wesentlichen ist die Menge der im Darm befindlichen Masse von den Raumverhältnissen abhängig, wenn auch vielleicht durch besondere Gewohnheiten eine Dehnung des Darmes zustande kommt, wie es auch Dehnungen des Magens oder der Blase gibt. Die Art der Ausscheidung hängt übrigens gar nicht von dem eingeführten „Ballast" ab, sondern auch von Nebenumständen, wie der Art der Gärung. In der Jugendzeit bei Muttermilchkost haben wir eine außerordentlich gut resorbierbare Kost, die also dem Begriff der Ballastbildung nicht entspricht, und ebenso gibt es auch späterhin im Leben Ernährungsformen, bei denen die unverdaulichen Beimengungen minimal sind, wobei die Gesundheit Jahrzehnte voll erhalten bleibt, sowohl bei animalischer, wie bei vegetabilischer Kost.

Wenn man die Fälle pathologischer Art, in denen habituelle Obstipation vorliegt und manchmal eine Kost mit unverdaulichem Material erwünscht ist, beiseite läßt, hat die genaue Untersuchung der Verdaulichkeit unserer Nahrungsmittel gezeigt, daß vom Standpunkt der Nahrungsökonomie die viel kotliefernden Materialien nachteilig sind. Ja, sowohl in meinen Ver-

suchen am Hund, wie am Menschen und jenen von O. Neumann und in den praktischen Erfahrungen mit verschiedenen verfälschten Kriegsbroten kommt man gerade zu der entgegengesetzten Anschauung, d. h. zur Überzeugung von der Unzweckmäßigkeit des Ballastes für den gesunden Darm, weil solche Zusätze mitunter zu einer hochgradigen Erschwerung der Defäkation führen können.

Nur unter ganz bestimmten Bedingungen kann die Vermehrung von halbverdaulicher Kost bei Leuten, die sonst nur leichtest resorbierbare Kost aufnehmen, zu der gewünschten regelmäßigen Entleerung führen, dazu bedarf es aber gar keiner gekünstelten Maßnahmen, es genügt die gewöhnliche gemischte Kost im Sinne unserer bisherigen Definition, also das Vermeiden jeder einseitigen Ernährung. Unsere Kriegskost bietet an sich schon, wie ich nachgewiesen habe, mehr als gut ist, an solchen kotbildenden Nahrungsmitteln, ja wir haben sogar eine ganze Reihe von Volksgebräuchen, welche an Kotbildlung so viel leisten, daß dadurch ein unerwünschter Verlust an nährenden Bestandteilen eintritt. Der Pumpernickel ist bis heute im Gebrauch geblieben, obwohl man weiß, daß er eine erhebliche Vergeudung von Nährmaterial bedeutet.

Es ist zweifellos ein richtiger Gedanke, das Holz, allerdings in anderer Weise als durch Zermahlung, nutzbar zu machen, in den Holzarten haben wir ungeheure Mengen von Kohlehydraten, deren Nutzbarmachung die ganze heutige Ernährungsfrage lösen könnte. Zwar sind schon erhebliche Fortschritte in der Verzuckerung des Holzes gemacht, auch die Verwertung für die Alkoholgewinnung ist in Aussicht genommen, so daß man wohl auf weitere Vervollkommnung des Verfahrens wird rechnen können.

Eine Art Mittelstellung zwischen einfachem Holzmehl und der Verzuckerung nehmen jene Verfahren ein, welche ohne weitgehende Trennungsmethode Holzarten durch chemische Behandlung mit Säuren oder Alkali aufschließen und als Futtermittel für Tiere eventuell auch als Hilfsmittel bei der Herstellung der menschlichen Nahrung empfehlen.

Über die Verarbeitung der Hölzer hat man bei der Zellstoffherstellung außerordentlich viele Beobachtungen über Aufschließungsmöglichkeiten gemacht.

Die Hydrolyse durch Alkalien geht zurück bis auf Watt und Burgen 1853, die Hydrolyse durch Schwefelsäure auf Arnoulli 1854, die durch Bisulfit auf Tilghman 1866. Durch Einwirkung von Alkali entstehen aus der Zellulose (z. B. Baumwolle) leicht gequollene oder quellbare Zellulosen, die in der Elementenzusammensetzung von echter Zellulose nicht abweichen, kein Reduktionsvermögen besitzen, aber hygroskopischer sind.

Auch Säuren erzeugen solche Hydratzellulose.

Die weitere Einwirkung der Säure kann zu Hydrozellulose führen, Säuredämpfe wirken in ähnlicher Art, sie enthält mehr Wasser und zwar in chemischer Bindung, auch tritt Reduktionsvermögen wie bei Zuckern auf, jedoch nur bei längerem Kochen mit dem Reagens. Die Wirkung von Säuren auf die Zerkleinerungsfähigkeit der Zellulose ist lange schon technisch angewandt (Hydrozellulose).[1] Von der Salzsäure ist bekannt, daß sie von der Holzfaser sehr fest gehalten wird. Gasförmige Salzsäure wirkt rasch zerstörend auf Zellulose, schon 10 Minuten Dampfeinwirkung verändern die physikalischen Eigenschaften der Faser, doch muß etwas Wasserdampf vorhanden sein (a. a. O. S. 70).

Für die Zwecke der Landwirtschaft hat man auch schon mehrfache Versuche gemacht, holzfaserführende Gemenge aufzuschließen, indem man sie nach bestimmten Verfahren mit Säuren oder Alkali meist in der Wärme oft unter Druck behandelt. Dieselben Wege sind bis zu einem gewissen Grade auch für reine Holzmehle gangbar. Über den Einfluß von Alkalien auf das Birkenholz habe ich früher schon berichtet, und dessen Verdaulichkeit nach Beseitigung der gelösten Produkte festgestellt. In nachfolgendem will ich über die Wirkung der Vorbehandlung durch Säure kurz berichten.

Ein mit Säure hergestelltes Holzmehl rührt von Prof. Schwalbe in Eberswalde her und war mir auf Veranlassung des Landwirtschaftsministeriums zugegangen.

Der Begriff der Aufschließung scheint sich heute noch nicht zu einer klaren Definition verdichtet zu haben, sicher wird von vielen Seiten darunter nichts anderes verstanden, als die Verarbeitungsfähigkeit eines solchen vorbehandelten Holzes zu „Mehl". Man sagt, die „Zellulose" sei aufgeschlossen, auch wenn nur die physikalischen Eigenschaften geändert sind. Andererseits wird man darunter auch verstehen können die Bildung leicht löslicher oder gelöster Produkte. Es ist damit aber nicht immer schon gesagt, daß diese Produkte wirklichen Nährwert haben, ja, es läßt sich vermuten, daß gelegentlich auch Nebenprodukte sich bilden können, die schädlich sind.

Ich wende mich zunächst der „Aufschließung" mit Säure zu.

Der zur Aufschließung mit Säure bei dem Schwalbeschen Holzmehl gewählte Weg ist mir nicht bekannt, jedenfalls aber sollen die Aufschließungsprodukte nicht abgetrennt und für sich verwendet, sondern mit der Holzmasse vereinigt bleiben. Das gibt der Anwendung zur Aufschließung schon eine bestimmte Richtung. Um einen eigenen Einblick in die Verhältnisse

---

[1] C. Schwalbe, *Chemie der Zellulose.* S. 55.

zu bekommen, habe ich einige Experimente angestellt, über die kurz berichtet sein mag.

Ich wählte als einfachste Einwirkung den ClH-Dampf. Bringt man Birkenholzmehl in einem Exsikkator trocken mit Dämpfen von ClH zusammen, so verfärbt sich die Masse in wenigen Minuten und wird gelb, rötlichbraun und bis zum nächsten Tage ziemlich schwarz und sieht schließlich in 2—3 Tagen wie Ruß aus. Diese Vorbehandlung hat zunächst den einen Zweck oder Erfolg, das Birkenholzmehl wohl durch Bildung von Hydratzellulose zerreiblicher zu machen; das kann von Wert sein, weil dadurch die Verfilzung der Fasern, die im Kote sehr unangenehme Folgezustände erzeugt, vielleicht beseitigt wird.

Die Einwirkung des ClH-Dampfes gab folgende wesentliche Ergebnisse: In 3 Tagen war von einer Veränderung der Zellulose selbst keine Rede, das Präparat enthielt ebensoviel Zellulose, wie sonst das Birkenmehl auch zu enthalten pflegt. Dagegen läßt sich Substanz mit Wasser und noch weit mehr mit Alkohol ausziehen, doch geht nur ein Teil der schwarzen Substanz in Lösung. Um Verkohlung handelt es sich nicht, da die daraus dargestellte Zellulose nur schwach gelbbraun war, Kohlenstoff aber bei den Eingriffen zur Zellulosedarstellung nicht angegriffen wird.

Die Frage läßt sich auf einem einfachen Wege genügend beantworten. Die Verbrennungswärme des Birkenholzmehles habe ich pro 1 g organisch zu 4·337 kg-cal gefunden; das schwarze Präparat der 10 Tage mit ClH behandelten Birke gab pro 1 g organisch 4·093, d. h. um 5·7 Prozent weniger Verbrennungswärme. Dabei wäre zu berücksichtigen, daß diese Präparate 1—2 Prozent ClH, also etwa 1·5 Prozent ClH enthalten, wodurch der Gehalt an Brennwert vermindert wird. Im ganzen genommen, ist eine wesentliche Änderung des Brennwertes nicht eingetreten, also können auch w e i t g e h e n d e Abspaltungen von flüchtigen Produkten nicht vorgekommen sein.

Ob die in Alkohol löslichen Produkte Nährstoffe darstellen, läßt sich kaum sagen, jedenfalls geben sie weder direkt, noch mit Säuren behandelt Zucker. Holzmehl, vorher mit Säure „aufgeschlossen“, löst sich zum Teil in 5prozentiger Kalilauge und gibt eine durch Alkohol fällbare Substanz, die dasselbe Verhalten zeigt, wie die aus normalem Birkenholz erhaltene Substanz. Behandelt man Filtrierpapier mit ClH-Dämpfen, so bleibt es weiß (es besteht, wie ich a. a. O. angegeben habe, nicht aus reiner Zellulose, sondern schließt auch Pentosane ein).

Erst in der Wärme im Trockenschrank schwärzt es sich und zerbröckelt, was jedem von schlecht ausgewaschenen Filtern, aus denen Salzsäure nicht ausreichend entfernt wurde, bekannt ist. Solches in der Wärme angegriffene Papier gab statt 99 Prozent Zellulose nur mehr 91·5, war also zersetzt worden,

aber immerhin recht wenig. Die Zellulose ist also nicht das, was unter den erwähnten Verhältnissen in dem Birkenholze zuerst stärker angegriffen wird, sondern offenbar andere Substanzen werdən getroffen: gerade die Zellulose bedürfte aber der Aufschließung, da sie am meisten der Verdauung widersteht. Andere Holzarten, wie Fichtenholzspäne, verhielten sich ähnlich (nur die Rinde bleibt aufallend unverändert), sie werden bröcklich und zerreiblich und schwärzen sich.

Dehnt man solch einen Versuch der Säureeinwirkung auf längere Zeit aus (auf 10 Tage oder länger), so war der Zellulosegehalt des Birkenholzes von 36·2 Prozent auf 25·1 Prozent, der Pentosegehalt von 35·6 auf 11·2 Prozent gesunken, die Pentosen sind also stark zerstört worden, unter Zunahme von in Wasser und Alkohol löslichen Verbindungen. Ob den Produkten aber ein erhöhter Nährwert verliehen wird, muß vorläufig unerörtert bleiben.

Das schwarze ClH-Präparat wäre praktisch schon wegen der Farbe unverwendbar. Die Schwärzung läßt sich vermeiden, wenn man das Holz (Birke oder Fichte) mit schwachem Ammoniak auszieht, trocknet, das NH_3 verjagt, dann schwärzt sich die Masse in ClH-Dampf nicht mehr, sondern wird höchstens leicht gelblich. Die schwarze Färbung ist also auf Zersetzung von Ligninsubstanzen in erster Linie zurückzuführen. Das Wasserextrakt solcher Produkte gibt starke Trommersche und Pentosenreaktion, war aber unmittelbar nicht oder unvollkommen gärungsfähig, mit Hefe auch nicht nach Neutralisation der Flüssigkeit. Schimmelpilze gediehen sehr gut. Der Begriff Aufschließung scheint also nur für diese Mehrung von in Wasser löslichen Produkten in Frage zu kommen, die aber wieder nur zum Teil aus Hexosen bestehen dürften. Ein weiteres Eingehen auf diese Verhältnisse erübrigt sich vorläufig. Nebenbei käme bei langer Einwirkung noch die Verminderung der Zellulose in Betracht.

So war also ungefähr ein Bild gewonnen, wie sich etwa der Säureaufschluß vollziehen kann.

Ich habe mit ClH-Dampf eine größere Menge Birkenholzmehl „aufgeschlossen", das Material an der Luft stehen gelassen, um die ClH tunlichst verdunsten zu lassen, doch gelingt es nie, das Holz wieder von ClH ganz zu befreien. Für den Versuch am Hund kam die schwarze Farbe als störend nicht in Betracht.

Zuerst sollte an diesem sehr weitgehend angegriffenen Präparat die Veränderung oder Besserung der Resorbierbarkeit festgestellt werden.

II.

Versuch über die Ausnützung des mit ClH-Dampf behandelten Birkenholzes.

Der Versuch wurde in der Weise ausgeführt, daß der Hund, den ich zu früheren Versuchen benutzt habe, zu 1000 g Pferdefleisch 70 g lufttrockenes Präparat erhielt, irgendwelche Störungen sind dabei nicht eingetreten, der Kot war schwarz wie Ruß und unterschied sich nicht von dem zugeführten Präparat.

Die Zusammensetzung des letzteren war folgende:

Birkenholz mit ClH vorbehandelt.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	Ursprüngliches Birkenmehl
Asche	2·62	8·30
Organisches	97·38	91·70
Pentosen	10·88 = 9·61 g Pentosan	32·70 = 30·10) Pentosan
N	0·27 (1·68 g Rohprotiïn)	0·36 (2·24 Rohprotein)
Zellulose	24·35	33·2
Zellmembran . . .	70·66 mit 3·43 g Pentosan	89·05
Fett	1·29	0·40
Lösliche Substanzen	23·75	
Verbrennungswärme	398·5	

Täglich werden 70 g lufttrockenes Präparat gegeben; bei 93·35 Prozent Trockensubstanz = 65·34 g Trockensubstanz.

Darin sind enthalten:

Asche	1·70
Organische Substanz .	63·64
Pentosen	7·11 = 6·28 Pentosan
N	0·17
Zellulose	15·91
Zellmembran	46·16 mit 2·24 g Pentosan
Restsubstanz	32·41
Fett	0·84
Lösliches	15·52
Verbrennungswärme .	260·4

Dem ungleichen Aschegehalt kommt keine Bedeutung zu, man sieht aber die schon erwähnte starke Verminderung der Pentosen, eine Ver-

minderung des N, der Zellulose, Zellmembran und des Fettes; an ihrer Stelle treten lösliche Substanzen auf, die der Hauptsache nach in Alkohol aufgenommen werden.

Von den Pentosen liegt ein erheblicher Teil in gelöster Form vor, denn von 9·61 g Gesamtpentosen sind nur 3·43 Pentosan in der Zellmembran, während im Holz selbst gelöste Pentosen nicht enthalten sind. Von den 23·75 g löslicher Produkte sind nur 6·18 g Pentosane, d. h. 26·0 Prozent, während die Behandlung des Holzes mit 5 Prozent kalter Kalilauge ein Produkt mit 70 Prozent Pentosanen liefert. Durch die ClH sind aber Pentosane in erheblicher Menge zerstört worden, während die Kalibehandlung viel milder ist und keine Zerstörung von Pentosanen und Pentosen herbeiführt. Die Menge der löslichen Substanz ist mit der Zeitdauer nicht sehr gewachsen, denn auch nach 3 Tagen hatte ich in anderen Versuchen 23 bis 25 Prozent Lösliches gefunden. Berechnet man für 100 Teile Zellmembran die Zusammensetzung, so findet sich

	in vorliegendem Präparat	in ursprünglichem Holz
Zellulose	34·46	37·23
Pentosane	4·86	33·69
Rest	60·68	29·08

Ob der „Rest“ in dem ClH-Präparat ganz im Verband der Zellmembran steckt, läßt sich nur dadurch wahrscheinlich machen, daß ihn keines der angewandten Lösungsmittel abtrennen läßt; er wird aber bei der Herstellung der Zellulose zerstört, denn diese ist nur leicht bräunlich, nicht mehr schwarz.

Über die Ausscheidung gibt die nächste Tabelle Aufschluß:

	In 100 Teilen Kot sind enthalten:	In 63·8 g pro Tag
Asche.	19·29	12·3
Organisches	80·71	51·5
Pentosen	7·58	4·84 = 4·27 Pentosan
N	4·31	2·75
Zellulose	25·41	16·21
Zellmembran . . .	48·97 mit 3·04 g Pentosan	31·24 mit 1·94 g Pentosan
Restsubstanz . . .	20·52	13·09
Fett	1·50	0·96
Verbrennungswärme	398·0	257·5

In 100 Teilen Zellmembran des Kotes waren:

		Bei unversehrtem Birkenholz
Zellulose	51·07	43·85
Pentosan.	6·66	24·20
Rest	42·27	31·95

Die Ausscheidungen des Hundes nahmen nur mäßig zu, der Kot war schwarz ohne starken Geruch und betrug bei 428 g frisch 191·4 g Trockensubstanz, er besaß also 44·6 Prozent Trockensubstanz. Diese Erscheinung war auch schon bei dem Birkenmehl aufgefallen, sie ist leicht erklärlich. Der Trockenheitsgrad wird durch die Holzfaser bedingt, die selbst nicht quillt. Die Menge des Kotes betrug pro Tag 63·8 g.

Die Zellulose ist also offenbar, wie stets der weniger verdauliche Teil der Zellmembran. Über die Resorption der einzelnen Bestandteile der Zellmembran und der Pentosane überhaupt hat sich folgendes ergeben:

Von 100 Teilen gehen zu Verlust:

	Birkenholz mit ClH behandelt	Normales Holz
Pentosen	68·07	55·40
Zellulose	100	60·78
Pentosen in der Zellmembran	86·60	—
Zellmembran	67·67	64·94
Restsubstanz	40·39	—

Das am leichtesten Lösliche ist also die „Restsubstanz", die sonst die Lignine usw. umfaßt, aber hier vielleicht durch Umwandlungsprodukte ersetzt ist.

Jedenfalls ist die Rückwirkung des Präparates auf den Darm eine ungünstige gewesen. Das kann man an der ganz erheblichen N-Ausscheidung sehen. Bei reiner Fleischkost kommen nur 1·09 g N pro Tag im Kot; auch reines Birkenholz vermehrt die N-Menge nicht, somit hat eine Störung der Resorption des Fleisches als Nebenwirkung stattgefunden. Diese läßt sich weiter feststellen, wenn man den Brennwert des Kotes untersucht und dabei in Rechnung stellt, daß bei 1000 g Fleisch pro Tag 67·74 Kal. im Durchschnitt mit dem Kote entleert werden, weiter läßt sich der Brennwert der im Kote ausgeschiedenen Zellmembran und der freien Pentosane des Kotes in Abzug bringen. Im Kot sind 4·27 g Pentosane, in der Zellmembran nur 1·94, es sind also freie Pentosane vorhanden, 4·27 — 1·94 = 2·33 g pro Tag, während ich bei normalem Birkenholz bei 75 g täglicher Zufuhr 3·85 Pentosen = 3·4 g Pentosane gefunden hatte.

Der Kot enthielt 257·5 kg-cal. als Brennwert, zieht man davon 67·7 Kal. ab für den Fleischkot, so bleiben 189·8 für die durch das Präparat bedingte

Ausscheidung. Die Zufuhr beträgt 260 Kal., was einen Verlust von 73·0 Prozent der Kalorien ergibt, der nur auf das Birkenpräparat allein entfällt. Ob die Unresorbierbarkeit des Birkenpräparates allein oder eine Anregung zur Ausscheidung der Stoffwechselprodukte vorliegt, ergibt folgende Zusammenstellung:

In der Ausscheidung	257·5 Kal.
in 31·24 Zellmembran 1 g etwa 4·266 Kal. = 133·2, 2·33 freie Pentosane = 2·64 Pentosen × 3·7 = 9·8.	143·0 „
Rest	94·5 Kal.

Da im Fleischkot nur 67·7 Kal. kommen sollen, hier aber 94 berechnet werden, so muß auch eine Reizung des Darmes zu höherer Sekretion vorhanden gewesen sein.

Die Aufschließung des Holzes hat also irgendeinen Vorteil für die Verdaulichkeit nicht erbracht, im Gegenteil eine gewisse Verschlechterung des Resultates mit reinen Holzmehles herbeigeführt, die Zellulose blieb ganz unberührt; neben der Reizung des Darmes scheint das Wachstum der zelluloselösenden Bakterien behindert worden zu sein, da es nicht einmal zu jenem Grade der Auflösung der Zellulose kam, wie ich ihm sonst bei dem gewöhnlichen Birkenholzmehl nachgewiesen habe.

III.

Versuche mit Holzmehl (Schwalbe).

Als Holzmehlprobe habe ich zwei verschiedene in Händen gehabt; zunächst ein sehr feines weißes Pulver, das einen deutlichen Geruch nach Essigsäure erkennen ließ. Die Menge reichte nur zur Ausführung einer Analyse aus, die folgendes Ergebnis hatte:

In 100 Teilen Trockensubstanz war:

Asche	0·50 Prozent
Organisches	99·50
Pentosen	13·62 = 12·03 Pentosan
N	0·10 = 0·62 Rohprotein
Zellulose	47·14
Zellmembran	74·40 mit 8·03 g Pentosan
Fett	1·06

Ein Teil der Substanz war in Wasser und Alkohol löslich, sie läßt sich aus der Differenz zwischen organischer Substanz überhaupt und der Summe der Zellmembran, Fett + Protein berechnen, nämlich:

= 25·4 Prozent. An löslichen Pentosanen waren vorhanden 12·03 — 8·03 = 4·0 g. Die lösliche Substanz bestand also zu 17·1 Prozent aus Pentosanen bzw. der entsprechenden Menge Pentosen. Im Holzmehl waren noch 1·42 Prozent ClH enthalten, das Destillat war ClH-frei, gab jedoch die Reaktion auf Essigsäure, das Lösliche war also auch nicht reichlicher, als in dem Versuch mit einfacher ClH-Dampfbehandlung des Birkenholzmehles, nur enthielt das Birkenholzpräparat mehr Pentosen in dem löslichen Produkt, was mit dem größeren Pentosengehalt dieses Holzes überhaupt zusammenhängt. Da das Birkenpräparat weit zelluloseärmer ist als vorliegendes, wäre es an sich ein zweckmäßigeres Material für die Bearbeitung zu Holzmehl.

Ein zweites Präparat, das in größeren Mengen geliefert wurde, war tiefbraun, nicht so fein zermahlen wie das erste, es hatte gleichfalls den eigentümlich sauren Geruch. Ein ausgeprägter Geruch nach Fichtenholz macht sich dann bemerkbar, wenn man mit heißem Wasser extrahiert, das Material hat den typischen Geruch nach Sägespänen.[1]

Es handelt sich um Fichtenholzmehl, das etwas mit Kiefernholzmehl verunreinigt ist. Prof. Schwalbe teilt mir über die Zusammensetzung für lufttrockne Substanz folgendes mit:

100 Teile enthalten:

Wasser	4·08
Ätherextrakt	3·48
Terpentin	0
Gesamtsalzsäure	0·88
Flüchtige ClH	0·16
Flüchtige Essigsäure	0·15

Harze sollen in dem Präparat nicht vorhanden sein. Die braune Farbe kann vermieden, wenn es nötig ist, auch die Säure kann beseitigt werden. Weitere analytische Feststellungen sind mir nicht bekannt.

Von anderer Seite sind mir folgende Analysen über das Schwalbesche Holzmehl mitgeteilt worden, welche sehr wichtig für die Entstehungsweise des Fichtenmehls sind und sich auf das weiße Präparat beziehen.

---

[1] An dem in der Wärme auftretenden Geruch habe ich einmal auch die Verfälschung eines Honigkuchens mit Holzmehl auffinden können. Während die Ware nur durch ihre trockene und wenig mundende Beschaffenheit auffiel, entwickelte sich bei Eintauchen in heißen Thee sofort der dem Fichtenholz so zähe anhaftende Geruch.

Fichtenholzmehl.

	Unbearbeitet in 100 Teilen	Nach Schwalbe bearbeitet	Wasserfrei ber.
Wasser	7·14	7·37	
Asche	0·33	0·54	0·59
Ätherextrakt	1·52	0·75	0·80
N	1·10	0·37	0·39
Rohfaser	64·23	66·85	72·17
N-freie Extraktivstoffe	25·28	24·12	26·04

Außerdem wurden Salz- und Essigsäure nachgewiesen. Wesentliche Veränderungen der Zusammensetzung sind also nicht ersichtlich, jedenfalls ergibt sich nur in Ätherextrakt und N-Gehalt eine nennenswerte Differenz. Die Rohfaser ist dieselbe geblieben; von einer Aufschließung wäre hiernach nichts zu bemerken, die Einwirkung der Salzsäure muß also nur kurzdauernd gewesen sein.

Nach meiner Analyse, welche das Material weiter gliedert, als die übliche Rohfaserbestimmung, ergibt sich für das verfütterte (braune) Holzmehl folgendes:

Braunes Holzmehl (Schwalbe).

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

		In 85·1 g Trockensubst. pro Tag
Asche	0·89	0·75
Organisches	99·11	84·35
Pentosen	12·76 = 11·26 g Pentosan	10·85 = 9·59 g Pentosan
N	0·12 = 0·75 Rohprotein	0·10
Zellulose	36·90	31·39
Zellmembran	71·25 mit 6·94 g Pentosan	60·63 mit 5·89 g Pentosan
Restsubstanz	27·41	23·05
Fett	3·27	2·78
Verbrennungswärme	476·3 kg-cal.	405·0

Der Zellulosegehalt ist also viel kleiner, als ihn der Rohfasergehalt vermuten läßt und es erscheint unter den Bestandteilen ein Gemisch wasserlöslicher Substanzen, die direkt nicht reduzierten und 25·1 Prozent des ganzen Mehles ausmachten. Das darf wohl als Nebeneffekt der gesuchten Aufschließung zu betrachten sein.

Zieht man von der organischen Substanz 99·11 g die Summe von Fett und Protein + Zellmembran ab 75·27 g, so bleiben als lösliche Substanz 23·84 g, während rund 25·1 Prozent durch Extraktion gefunden werden.

Von den 23·84 gelösten Teilen sind 4·32 Teile Pentosane = 18·12 Prozent; beide untersuchten Präparate stimmen in dieser Hinsicht überein. Es sind demnach relativ viel Pentosen in eine wasserlösliche Form übergeführt worden, doch gaben diese Lösungen keine Reduktion mit Trommerscher Probe. Auch nach dem Kochen mit Säure ließen sich keine Osazone gewinnen. Ob also dieser Substanzmischung ein Nährwert zukommt, blieb fraglich.

Die Kotbildung war enorm gesteigert, in 3 Tagen wurden nicht weniger als 574 g frischer Kot entleert mit 262·0 g Trockensubstanz, also = 46·6 Prozent. Auch hier war keine Diarrhöe eingetreten, vielmehr waren die Kotmassen so hart, wie sie es leider bei allen ähnlichen Präparaten sind, pro Tag wurden 87·3 g trockner Kot ausgeschieden, während bei der Aufnahme von Fleisch allein nur etwa 15 g erschienen waren. Schon dies zeigt im allgemeinen eine enorme Belastung des Darmes.

Über die Zusammensetzung des Kotes gibt folgende Tabelle Aufschluß:

	100 Teile Kot enthalten:	87·3 g Kot pro Tag enthalten:
Asche	4·44	3·88
Organisches	95.56	83·62
Pentosen	8·12 = 7·17 Pentosan	7·10 = 6·27 Pentosan
N	2·09	1·83
Zellulose	35·67	31·40
Zellmembran	61·40 mit 5·50g Pentosan	53·72 mit 4·81 g Pentosan
Restsubstanz	20·11	17·58
Fett	2·22	1·94
Verbrennungswärme	477·3	417·6

Der Kot ist also sehr reich an Zellulose und Zellmembran, er unterscheidet sich nicht sehr viel von der eingeführten Substanz überhaupt, so sehr tritt die Beteiligung der Stoffwechselprodukte gegenüber dem Unresorbierten zurück. Eine gewisse Umwandlung der eingeführten Zellmembran ist eingetreten, wie man beim Vergleich der Prozentzahlen sieht.

100 Zellmembran enthalten:

	Zufuhr	Ausfuhr
Zellulose	51·79	58·12
Pentosan	9·75	8·96
Restsubstanz	38·46	32·94

Die Zellulose überwiegt wie stets in der Ausfuhr.

Der Verlust an sonstigen Bestandteilen ergibt sich aus folgender Zusammenstellung:

Von 100 Teilen gehen verloren:

von den Gesamtpentosen	65·45
von der Zellulose	100
von den Zellmembranen	88·58
von den Pentosan in der Zellmembran .	81·69
von der Restsubstanz	76·27

Von den löslichen Pentosen ist aber ein Teil aufgenommen worden, von 3·70 sind nur mehr 1·46 im Kot vorhanden = 39·46 g Verlust. Da die Möglichkeit besteht, daß solche Verbindungen im Harn austreten, wurde vom Harn des 3. Tages = 500 $^1/_{10}$ auf Pentosen untersucht und 0·434 g Pentosen gefunden, demnach wäre ein Teil mit dem Harn ausgeschieden worden. Ob diese gerade von den vorher gelösten herrühren oder zum Teil aus den Pentosanen der Zellmembran stammen, läßt sich nicht sagen.

Die Verluste sind in jeder Beziehung größer als z. B. bei Birkenholz, das gar keine Bearbeitung erfahren hat. Ein Vergleich mit dem vorhergehenden Versuch zeigt auch keinen Vorteil dieses Präparates zu dem mit ClH behandelten Birkenholz. Die Zellulose ist in beiden Versuchen gar nicht angegriffen, was möglicherweise auf irgendeine Störung der Darmflora zurückzuführen ist.

Berechnet man den Brennwert des Kotes	417·6
und zieht davon die Kalorien des Fleischkotes ab	67·7
so hinterbleibt der auf die Wirkung der Holzmehlfütterung treffende Anteil	349·9 Kal.

In der Zufuhr waren 405·0 kg-cal., also sind rund 86·4 Prozent zu Verlust gegangen. Prüft man dann noch die Frage, ob die Unresorbierbarkeit des Holzmehles allein Schuld trägt, oder ob auch eine Reizung des Darmes vorlag, so hat man folgende Zusammenstellung:

In der Ausscheidung		417·6 kg-cal.
in 53·73 g Zellmembran pro Tag 53·72 × 4·763 =	255·7	
für gelöste Pentose 1·65 × 3·7	6·4	262·4 „
es bleibt für Stoffwechselprodukte =		155·5 kg-cal.,

während Fleischkost nur 67·7 Kal. liefert. Dies beweist die Steigerung der Ausscheidung von Stoffwechselprodukten, worauf auch die hohe N-Ausscheidung hinweist.

Ich muß hier aber noch darauf verweisen, daß das Präparat zu $^1/_4$ seines Gewichtes aus einem Stoffgemisch bestand, das in warmem und heißem Wasser löslich war. Diese Substanzen sind möglicherweise zum Teil nicht zur Aufnahme gelangt und an dem erheblichen Kalorienverlust mitbeteiligt.

Da hier möglicherweise der günstigste Nutzeffekt für die Verdauung überschritten war, so habe ich noch eine weitere Versuchsreihe mit etwas weniger Material ausgeführt. Bei reinem Birkenmehl war das Optimum der Resorption zwar bei 75 g, also nur wenig unter der hier gefütterten Menge. Immerhin konnte bei den ungünstigen Resultaten an einen solchen Einwand gedacht werden.

Als Kontrolle zu dem eben berichteten Versuch wurde nochmals eine Reihe mit nur 70 g lufttrockner Substanz ausgeführt = 66·22 g Trockensubstanz.

In der Zufuhr ist enthalten:

Asche	0·59	
Organisches	65·62	
Pentosen	8·45	
N	0·08	
Zellulose	24·43	
Zellmembran	47·26	mit 4·59 g Pentosan
Restsubstanz	17·93	
Fett	2·16	
Verbrennungswärme	315·4	

Der Verlauf des Versuches war ganz genau derselbe wie bei vorhergehender Reihe, die Kotentleerung voluminös, aber relativ trocken, die Analyse des Kotes ergab folgendes:

Entleert wurden in 3 Tagen 438 g frischer Kot = 200·45 g trocken = 45·8 Prozent Trockensubstanz. = 66·8 g Trockensubstanz pro Tag.

	In 100 Teilen Kot sind:	In 66·8 g Kot pro Tag sind:
Asche	4·42	2·95
Organisches	95·58	63·90
Pentosen	7·72 = 6·8 g Pentosan	5·16 = 4·55 Pentosan
N	2·21	1·47
Zellulose	30·00	22·04
Zellmembran	47·93 mit 3·95 g Pentosan	32·00 mit 2·3 g Pentosan
Restsubstanz	1·53	1·02
Verbrennungswärme	419·4	280·1

Der Kot zeigt in seiner Zusammensetzung eine weitgehende Ähnlichkeit mit dem ersten Versuch, ein Vergleich der gefütterten Zellmembran und der Ausscheidungen im Kote ergibt:

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	Zufuhr	Ausfuhr	
		Versuch I	Versuch II
Zellulose	51·79	58·12	62·59
Pentosan	9·75	8·96	7·50
Restsubstanz . . .	38·46	32·94	29·90

Die Ausscheidung enthält also Zellmembranteile, welche weit reicher an Zellulose sind wie die Einfuhr, Pentosan und Restsubstanz sind also besser resorbiert worden wie die Zellulose.

Als Verlust an sonstigen Bestandteilen läßt sich berechnen:

Von 100 Teilen Zufuhr gehen verloren:

von den Gesamtpentosen	61·06
„ der Zellulose	93·5
„ den Zellmembranen	67·7
„ der Restsubstanz	53·42
„ den Pentosen der Zellmembran . .	50·10

Verglichen mit dem ersten Versuch ist also das Ergebnis etwas günstiger, doch fällt wieder auf, daß die „Zellulose“, welche ja aufgeschlossen sein soll, wieder sehr ungünstig sich verhält, weit schlechter wie etwa bei den Experimenten mit Birkenholz, diesem ganz unveränderten und nicht präparierten natürlichen Material.

Der N-Verlust ist etwas weniger groß wie im vorigen Versuch, immerhin aber noch so groß, daß man von einer Steigerung des N-Verlustes mit Bestimmtheit sprechen kann, was sich auch aus der Verbrennungswärme des Kotes oder auch einfach aus der Menge der entleerten organischen Substanz —, die weit über die normale Größe der Rückstände des Fleischkotes hinausgeht, auch wenn man die entleerte Zellmembran abzieht, ergibt.

Nimmt man vorläufig als Gesamtausdurck des Verlustes die Menge der Kalorien, welche unresorbiert bleiben, so zeigt sich

Zufuhr	315·4 kg-cal.
im Kot abzüglich der Fleischkotkalorien 280·1 — 67·7 =	212·4 „

= Verlust 67·34 Prozent.

Der Gesamtverlust ist also erheblich geringer als bei der ersten Versuchsreihe.

Zur Beurteilung der Frage, ob eine Steigerung der Stoffwechselbestandteile des Kotes eingetreten ist, kann man folgende Berechnung aufstellen:

Im Kot sind enthalten		280·6 kg-cal.
davon ab 32 × 4·763 für Zellmembran .	153·4	
für gelöste Pentose 2·48 × 3·7 . . .	9·2 =	161·6 „
		119·0 kg-cal.

Die Menge der Stoffwechselprodukte ist also erheblich größer als normal (= 67·7). Das Holzmehl hat sich zwar zum Teil als verdaulich erwiesen, zugleich aber einen störenden Reiz auf den Darm ausgeübt. Daher kann man sagen, daß es, abgesehen von den allgemeinen Erwägungen, welche sich gegen die Verwendung solchen Materiales geltend machen lassen, wegen dieser besonderen störenden Wirkungen zur Verwendung untauglich ist. Auf welche Produkte diese Schädlichkeit zurückzuführen ist, läßt sich nicht sicher sagen, es können vielleicht bestimmte Harzanteile sein, aber ebensogut auch andere Körper, die durch die Behandlung mit Salzsäure entstehen.

Faßt man die drei Untersuchungsreihen zusammen, hat man folgende Ergebnisse:

	Proz. Verlust an Kal.	Mehrausscheidung an Stoffwechselprodukten in Kal. pro Tag
I. Birkenholzpräparat	73·0	94·0
II. Holzpräparat Schwalbe	86·4	155·2
III. „ „	67·3	118·2
Reines Birkenholz	63·4	0

Jede Behandlung mit Säuren verringert also den Nutzeffekt, der Resorption des Holzes, die Produkte sind nicht nur an sich wenig verdaulich, sondern reizen den Darm oder stören die Resorption des Fleisches.

Bei solchen Betrachtungen über den Nutzwert des präparierten Holzmehles müßte man, worauf ich nicht näher eingehen will, vielleicht auch noch die kalorimetrische Untersuchung des Harnes mit heranziehen. Entgegen dem Versuch mit reinem Birkenholz, wo ich nur Spuren von Pentosanen oder Pentosen im Harne fand, war hier bei dem aufgeschlossenen Material die Ausscheidung von Pentosen im Harne nicht unerheblich, nämlich 0·434 g pro Tag, möglicherweise könnten auch noch andere Produkte, die sich durch einfache Reaktionen nicht verraten, mit übergegangen sein.

Keines der Holzmehle zeigte einen Einfluß auf die Herabsetzung der Eiweißzersetzung beim Hunde, die resorbierte Substanz war allerdings auch nicht bedeutend.

Die Versuchsreihen wurden benutzt, um Asche und Kalkausscheidung im Harn zu verfolgen, das Ergebnis mag hier kurz angeführt sein. Die Knochenfütterung (an den Abgrenzungstagen) hatte keinen Einfluß auf die Ausscheidung von Kalk im Harn, wohl aber auf den Salzgehalt des Harnes im ganzen. Von den Holzpräparaten vermehrte das aus Birke hergestellte die Kalkausscheidung wohl wegen des größeren Säuregehaltes, den es besaß.

Nach den vorliegenden Ergebnissen schien es mir nicht aussichtsreich, auf die weitere Untersuchung solcher Produkte am Menschen einzugehen, da sie ja gegenüber unpräpariertem Birkenmehl keine Vorteile bieten und insoweit eine Veränderung der Zellulose, also ihre Überführung in eine andere Modifikation mit veränderter physikalischer Eigenschaft in Frage kommt, doch den Zweck leichterer Verdaulichkeit nicht erzielen.

Die Verdaulichkeit von Weizenbrot.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Ziele und Aufgaben von Ausnutzungsversuchen.

Man hat bei den Untersuchungen über die Ausnutzung und Verdaulichkeit bei der Feststellung der üblichen Stoffwechselsubstanzen, wie Trockensubstanz, Fett und Asche halt gemacht. Ja in neuester Zeit will Hindhede überhaupt nur die Trockensubstanz bei einem Ausnutzungsversuch feststellen, sie genügt ihm für seine Art von Schlußfolgerungen.

Man ist über viele Einzelfälle von Nahrungsmitteln hinsichtlich der allgemeinen Züge der Ausnutzung, soweit es sich um rein praktische Beurteilung handelt, unterrichtet und aus rein praktischen Gesichtspunkten heraus ist man meist zur Aufnahme der Untersuchungen veranlaßt worden, besonders umfangreich waren solche auf dem Gebiete der Brotbereitung, während andere Gebiete der Nahrungsmittel so ziemlich vernachlässigt blieben.

Wenn ich mich in den nachfolgenden Untersuchungen nach mehreren Jahrzehnten nochmals an der Untersuchung über die Ausnutzung von Nahrungsmitteln beim Menschen beschäftige, so muß ich vor allem einige prinzipielle Fragen behandeln, durch deren Lösung der Ausnutzungsversuch uns nicht nur zum empirischen Mittel des Vergleichs einzelner Nahrungsmittel untereinander sich ausgestaltet, wie das für alle bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiete gilt, sondern zu einem Experiment, welches die Gründe der verschiedenen Verdaulichkeit aufdeckt, damit die Vorstellungen über die Nahrungsmittelresorption fördert und diese Art von Untersuchung zur Erkenntnis der Resorptionsvorgänge auswertet. Schon bei meinen ersten Untersuchungen über die Ausnutzung einiger Nahrungsmittel[1] und der unmittelbar anschließenden Arbeiten[2] hatte ich die Ausnützung nicht als empirischen Ausdruck eines spezifischen Verlustes unverdaulicher Produkte

---

[1] *Zeitschrift f. Biol.* Bd. XV.

[2] *Ebenda.* Bd. XVI. S. 19.

glattweg angesehen, obschon das unter Umständen für praktische Ziele genügt, sondern ich habe darauf verwiesen, daß die Kotbildung sich aus zwei Teilen, dem Stoffwechselanteil — wie ich kurzweg den einen Teil nennen will — und aus den wirklichen Nahrungsresten zusammensetzt. Zur Feststellung der N-haltigen Stoffwechselprodukte wurde von mir der erste Versuch durch die Verfütterung N-freier (oder N-ärmster) Nahrung gemacht.[1]

Ebenso findet sich der Versuch, direkt unverdauliches Material durch Untersuchung der Kotbestandteile darzustellen, bei den Ausnützungsversuchen über Brot durch Nachweis der Kleie in den Ausscheidungen gegeben.[2] Einige Jahre später wurde die Ausnützung der Rohfaser in den Versuchen von Wicke[3] mit zur Beurteilung herangezogen.

Zu den Faktoren ungleicher Ausnützung rechnete ich auch die bei manchen Nahrungsmitteln stark in den Vordergrund tretenden Gärungen.

Waren so die allgemeinen Gesichtspunkte auch festgelegt, so fehlte es doch an den geeignetsten Mitteln zu einer wirklichen Trennung der einzelnen Ausnützungsvorgänge in quantitativer Hinsicht.

In der späteren Zeit wurden von anderer Seite sehr häufig die Ausnützungsversuche in der ursprünglichen Form verlassen und das zu untersuchende Nahrungsmittel nur als Teil einer komplizierten Kost gereicht, oder einfach zu einer „Normalkost" zugesetzt. Dadurch sind eine ganze Reihe von Schwierigkeiten in die Ergebnisse hineingetragen worden. Das ist für praktische Zwecke manchmal genügend und für die ausführenden Personen zwar ein bequemes Verfahren, bietet aber zugleich eine derartige Komplikation der Resorptionsvorgänge, daß wir bei dem heutigen Stand des Wissens gar nicht in der Lage sind, die Versuchsergebnisse aufzuklären. Massenuntersuchungen dieser Art können den Mangel an Eindeutigkeit der Versuche nicht ersetzen.

Einen Schritt vorwärts versuchte hinsichtlich der Prinzipienfrage Prausnitz. Er verglich die chemische Zusammensetzung des Kotes bei verschiedenen Ausnützungsversuchen[4]; macht auch eine Zusammenstellung verschiedener Kotsorten, die im N, Fett und Aschegehalt sehr genau übereinstimmten, und kam zu dem Schluß, daß man nicht von verschiedener Ausnützung, sondern von verschiedener Kotbildung reden sollte. Nur in Ausnahmefällen wollte er Reste der Nahrung als Bestandteile des Kotes zulassen. Sonach läge die ungleiche Ausnützung nur in der ungleichen Bildung von Darmsekreten als kotbildenden Faktoren. So sollte im

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XV. S. 98.
[2] *Ebenda.* Bd. XIX. S. 68.
[3] *Archiv f. Hygiene.* Bd. XI. S. 335.
[4] *Zeitschr. f. Biol.* 1897. Bd. XXXV. S. 335.

allgemeinen eine Art „Normalkot", aber in verschiedenen Mengen entstehen. Für die empirische Beurteilung der Ausnützbarkeit hätte diese Anschauung nichts geändert, ob Kotbestandteile oder Nahrungsrest, die Verluste bestehen und müssen in Rechnung gezogen werden.

Prausnitz ist also so weit gegangen, aus den ziemlich sich nahestehenden N-Prozenten des Kotes zu schließen, daß die Ausnützung, von wenigen Fällen abgesehen, nur in der Bildung von Darmsekreten und nicht aus Nahrungswerten bestehe. Aber gerade auf dem springenden Punkt, auf den es Prausnitz ankommt, nämlich auf die Wesensgleichheit des Kotes bei animalischen und vegetabilischen Nahrungsmitteln, ist diese Annahme eines sozusagen schlackenfreien Kotes ganz unmöglich. Überall, wohin man sieht, spielen die Rückstände der Nahrung eine bestimmte Rolle, sie sind vorhanden, ohne vielleicht den Kot immer ausschlaggebend zu beeinflussen, man darf nur beliebig die Versuche der letzten Abhandlungen durchsehen, um jedesmal den Rest der Nahrungsmittel in den Ausscheidungen wenigstens in der Form der Zellmembranen aufzufinden.

Prausnitz glaubte für den Kot einen mittleren N-Fett- und Aschegehalt angeben zu können, d. h. für das, was er normalen Kot nennt und für Stoffwechselprodukte erklärt. Viel weitergehend ist der Kot, wie ich durch spätere Untersuchungen erwiesen habe, merklich übereinstimmend in der Verbrennungswärme[1], aber auch da darf man nicht die Verhältnisse umstoßen wollen, denn häufig genug ist die Resorption der Nahrungsmittel so dürftig, daß sie die mittlere Verbrennungswärme bei gut resorbierbarer Nahrung erheblich ändert und verschiebt.

Es wäre naheliegend gewesen, darauf hinzuweisen, daß N-, Fett- und Aschegehalt natürlich an sich nicht beweisen, daß solche Kote untereinander innerlich übereinstimmen, identisch und nichts weiter sind als Reste der Darmsäfte; die wenigen chemischen Merkmale erfassen keineswegs gerade die wesentlichsten Produkte der Kotbestandteile. Man kannte aber schon damals eine ganze Reihe von Fällen, die sich durch wesentliche Verschiedenheiten der Zusammensetzung des Kotes auszeichnen. Plagge und Lebbin (das Soldatenbrot, Berlin 1897) haben deshalb nach ihren zahlreichen Erfahrungen auf dem Gebiete der Brotausnützung den Ausdruck „kotbildende Nahrungsmittel" als Ersatz für den Ausdruck Ausnützung bestimmtestens (a. a. O. S. 149) abgelehnt. Später hat Schierbeck[2] durch zahlreiche Beispiele gezeigt, daß der N-Gehalt des Kotes „individuell" verschieden sein kann. Er hat Personen mit dauernd hohem

---

[1] Rubner, Der Energiegehalt der menschlichen Nahrungsmittel. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XLII. S. 261.

[2] *Arch. f. Hyg.* 1904. Bd. LI. S. 78.

und andere mit dauernd niedrigem N-Gehalt beobachtet. Beispiele über schwankenden Fett- und Aschegehalt kann man so häufig finden, daß man die Berechtigung, nur von verschiedener Kotbildung zu reden, auch fallen lassen muß, soweit sich diese Lehre etwa nur auf die bloße Feststellung des N-, Fett- oder Aschegehaltes des Kotes gründet.

Später[1] habe ich in der Abhandlung über den Energiewert der Kost des Menschen eine Zusammenstellung der Verbrennungswärmen des Kotes bei verschiedener Ernährung mitgeteilt. Dabei zeigte sich (a. a. O. S. 297), daß die Ausscheidungen stets eine höhere Verbrennungswärme der organischen Teile besitzen wie die Nahrung. Bei gut verdaulicher Kost aber findet man Verbrennungswärmen des Kotes, die nur um wenige Prozente verschieden sind und um den Mittelwert von 6·2 Kal. per 1 g (organisch) schwanken, d. h. solange der Gesamtverlust an Energie mit dem Kote 8 Prozent nicht übersteigt, darüber hinaus sinkt bei vegetabilischer Kost deutlich die Verbrennungswärme, sie würde höher werden, wenn Kot nach überreichlicher Fettzufuhr vorläge.

Insoweit Bestandteile der Galleausscheidung in Betracht kommen, haben diese sehr hohe Verbrennungswärmen.

Cholesterin	9·883 kg-cal.	per	1 g
Ochsengalle (organisch)	7·614 ,,	,,	1 ,,
Cholalsäure	8·119 ,,	,,	1 ,,

Die sich abschilfernde Epithelien werden dem Keratin in der Verbrennungswärme entsprechen = 5·56 Kal., per 1 g. Das Mekonium enthält nach meinen Bestimmungen = 5·818 kg-cal. per 1 g. Nach meinen Untersuchungen am Fleischkot des Hundes[2], geht von 100 Teilen N:

1·24	Prozent	in den Ätherextrakt
0·74	,,	in den salzsauren Ätherextrakt
61·50	,,	in den Alkoholextrakt
63·48	Prozent	in Alkohol- und Ätherextrakt zusammen.

Das „Fett" des Kotes hat nur 8·4 kg-cal., ist also in hohem Maße durch Stoffe geringerer Verbrennungswärme verunreinigt. Der Alkoholextrakt des Kotes hatte pro 1 g organisch nur 3·982 kg-cal. Wie ich später gefunden habe, läßt sich der als Stoffwechselanteil zu betrachtende Kot (inkl. Bakterien) in salzsaurem Alkohol und nachfolgend im kochenden Chloralhydrat bis auf Spuren lösen.

Da die Verbrennungswärme die Gesamtsummen aller vorhandenen Kotbestandteile zusammen faßt und kleine Schwankungen in der Zusammen-

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* 1902. Bd. XLII. S. 263.

[2] Rubner, *Gesetze des Energieverbrauchs.* Leipzig und Wien, 1902. S. 26.

setzung etwa im N-Gehalt kaum in Betracht kommen, eignet sich diese Methode recht gut zu einem allgemeinen Urteil, etwa in dem Sinne, daß viele Nahrungsmittel (Fleisch, Milch usw.) und Nahrungsmittelgemische, welche nicht reich an Vegetabilien und grobem Brot sind, einen offenbar sehr gleich zusammengesetzten Kot liefern, was nur möglich ist, wenn tatsächlich die von der Nahrung herrührenden Reste weit geringer sind, als man früher angenommen hat. Da aber solche Nahrungsreste, wie sie im Kote nach Gemüse- und Brotfütterung zurückbleiben, nicht nur Rohfaser, sondern Zellmembranen sind, die meist auch unresorbierte Eiweißstoffe einschließen, so ist ihre Verbrennungswärme zwar abweichend und niedriger als 6·0, aber doch meist nur um 4—5·5 Kal. schwankend, daher können erst nicht allzu kleine Mengen unresorbierten Materials den mittleren Verbrennungswert des Kotes herabdrücken. Zum mindesten wird also oft ein sehr großer Anteil des Kotes neben Unverdautem aus Stoffwechselprodukten bestehen, inwieweit das wirklich der Fall ist, wird in Zukunft durch die Versuche selbst zu entscheiden sein.

Für den Hund wurde die Frage der Mehrung der Stoffwechselprodukte in meinen Versuchen dadurch festgestellt, daß eine einheitliche Fleischnahrung innegehalten wurde, der die zu untersuchende (ungelöste) Substanz beigemengt wurde, nach der Verdauung wurden die Reste der Zellmembranen wieder dargestellt.

Als Resultat ergab sich, daß manche Zellmembranen ohne jeden Einfluß auf die Steigerung der Stoffwechselprodukte sind, d. h. das Fleisch versorgt durch den lebhaften Strom von Verdauungssäften die Verdauung der zugesetzten Membranen noch nebenbei, in anderen Fällen war aber deutlich eine Steigerung der Stoffwechselprodukte vorhanden.

Bei der Verdauung vegetabilischer Nahrungsmittel kommt allerdings die Resorption des Eiweißes, des Fettes, der Kohlehydrate und Zellmembranen in Betracht, daneben aber möglicherweise eine Einwirkung durch die Extraktivstoffe oder ähnliche Körper auf den Darm. Die Größe der Stoffwechselprodukte läßt sich aber heute direkt einer Untersuchung unterziehen, das geht aus den nachfolgenden Betrachtungen hervor. Um in dieser Hinsicht einen Schritt weiter zu kommen, habe ich bei den Versuchen, zu deren Durchführung mir Fragen der heutigen Kriegsernährung den Anlaß boten, auf dieses Gebiet der Ausnützung zurückgegriffen, den bisher unbekannten Teil der Ausnützungslehre, das Verhalten der pflanzlichen Zellmembran als solcher studiert, zu ihrer Untersuchung die nötigen Methoden angegeben und in den bisherigen Versuchen am Tier erprobt. So sind die in dieser Zeitschrift niedergelegten Untersuchungen entstanden.

Nach den bisherigen Ergebnissen meiner Untersuchungen über die Verdaulichkeit von Zellmembranen verschiedener Art mußte es notwendig

werden, die am Hunde abgeschlossenen Experimente auf Menschen in geeigneten Fällen auszudehnen.

Dies halte ich für um so wichtiger, als man ja immerhin gewisse Abweichungen in der Verdaulichkeit zwischen Hund und Mensch wird finden können, wenn schon nach mancher Richtung hin eine weitgehende Übereinstimmung besteht. So habe ich des öfteren darauf verwiesen, daß unser Darm, was die Ausnützung des Fleisches anlangt, dem Hunde gegenüber die gleiche Verdauungsgröße aufweist.

Es ist aber außerdem von mir noch auf einen anderen Gesichtspunkt verwiesen worden, nämlich auf den Umstand, daß die Verdaulichkeit der Zellmembranen, die z. T. auf Bakterieneinwirkung zurückzuführen ist, soweit sie die Zellulose und Lignine usw. betrifft, durch die begleitenden Bedingungen der Verdauung, d. h. die Kotmasse als Nährboden in bakteriologischem Sinne von Bedeutung wird. Daher ist es nicht gleichgültig, in welchem Verband die Zellmembranen zur Verdauung gelangen.

Das Wichtigste bleibt der natürliche Verband mit allen anderen Nährstoffen in dem Nahrungsmittel selbst und beim ausschließlichen Genuß desselben.

Niemals wird man im Kote Reste der gefütterten Nahrungsmittel ganz vermissen, wenn man die Ausscheidungen mikroskopisch durchmustert, besonders bei den Vegetabilien, die ja zumeist charakteristische in den Verdauungssäften wenig veränderte Formelemente liefern, ist dies ausgeprägt der Fall. Daher hat hier die Mikroskopie zur Diagnose der vorliegenden unverdauten Teile eine gewisse Bedeutung erlangt.[1] Doch muß ich aus meinen eigenen zahlreichen Beobachtungen betonen, daß auch aus dem mikroskopischen Bild allein nie ein Urteil über die quantitativen Verhältnisse des Unverdauten gefällt werden kann.

Unter den Ausscheidungen finden sich allemal reichlich Bakterien. Die Frage der Kotbakterien ist vielfach untersucht worden, es wurde behauptet, daß der Kot bis zu $^4/_{10}$ aus Bakterien bestehen könne. Ich habe daher diese Frage in meinem Laboratorium durch Lissauer eingehend untersuchen lassen[2] und will nur kurz die hier interessierenden Endresultate angeben.

Bei gemischter Kost fanden sich . .	8·67	Prozent des trocknen Kotes
bei vegetabilischer Kost	10·5	,, ,, ,, ,,
bei Fleisch	4·3	,, an Bakterien.

[1] S. hier Zusammenstellung bei Joseph Möller, *Zeitschr. f. Biol.* 1897. S. 291.

[2] *Zeitschr. f. Hyg.* 1906. Bd. LVIII. S. 145.

Manche Personen liefern dauernd Kot mit wenig Bakterien. In absouter Menge würden sich für die Tagesausscheidungen berechnen:

	Trockenkot täglich	N darin	Bakterien darin	N in den Bakterien
für Fleisch	17·1	1·12	0·73	0·08
gemischte Kost	30·0	2·9	2·86	0·33

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Menge der Bakterien bei der heutigen Methode dieses Nachweises eher zu hoch als zu niedrig gefunden wird. In den nachfolgenden Versuchen jedesmal die Bakterienmasse zu bestimmen, war mir bei den zeitraubenden Experimenten dieser Art unmöglich. Die von mir angewandte Methode der Feststellung der Zellmembranen läßt die Bakterien unberührt, da sich diese in siedendem Chloralhydrat, soweit ich einige Reinkulturen prüfte, fast ganz auflösen.

Auf einen Umstand, der mir für die künftige Bearbeitung der Fragen der Stoffwechselprodukte von Bedeutung erscheint, möchte ich noch hinweisen, es ist die Frage, wie sich Mischungen von Nahrungsmitteln verhalten werden. Es ist möglich, daß zwei Substanzen gemischt, jede für sich eine besondere Rückwirkung auf die Erzeugung von Stoffwechselprodukten ausübt, es ist aber auch der Fall möglich, daß durch eine Substanz bereits so reichlich Verdauungssäfte entstehen, daß eine Beilage gewissermaßen „kostenlos“ mit resorbiert wird. Vielleicht findet sich im Laufe der noch fortzusetzenden Arbeiten Gelegenheit, auch solche Fälle aufzudecken.

Die Aufschließung der Nährwerte der Brotfrucht.

Unter den vegetabilischen Nahrungsmitteln ist dem Brot bisher in der Literatur der Ausnützung das meiste Interesse zugewandt worden, seitdem durch G. Meyer und vor allem durch meine Versuche über die Bedeutung der Ausmahlung des Getreides[1] das Interesse dafür geweckt war. Die Ergebnisse standen nach allen Richtungen im Gegensatz zu den damaligen Lehren Liebigs. Letztere konnten als rein theoretische Einwände gegen die Verwendung von Mehlen gelten, die mehr oder minder kleiearm hergestellt wurden, vielleicht auch als eine Bekämpfung der durch das Aufblühen der Hochmüllerei bedingten Verfeinerung des Brotes. Im öffentlichen Leben hatte man schon im 18. Jahrhundert üble Erfahrungen mit dem Eigennutz der Müller, die dem Mehle große Mengen Kleie beimengten, gemacht und durch Gesetzesverordnungen war in manchen Staaten daher seit langem der Ausmahlungsgrad festgestellt.

[1] *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XIX. a. a. O..

Seitdem Liebig dem Brot aus ganzem Korn rein vom chemischen Standpunkt aus, den Vorzug zugesprochen hatte, die Gärung durch chemische Treibmittel zur Lockerung des Teiges gefordert worden war, die Salze des Brotes maßgebend für die Verdaulichkeit sein sollten, war eine lebhafte Bewegung zu „Brotverbesserungen" entstanden. Alle diese Annahmen sind zwar durch meine Versuche widerlegt worden und so für einige Zeit zum Stillstand gekommen. Sie haben aber in der halb populären Literatur ihr Dasein gefristet. Es konnte auch nicht wundernehmen, daß viele dieser halbschlummernden, wenn auch unbegründeten Ideen plötzlich wieder in der Kriegszeit auftauchten. Die Vorschläge zu Verbesserungen des Brotes, Herstellung von „Kraftbrot", Brot mit großem Reichtum an Nährsalzen, Ersatz der Hefe und des Sauerteiges durch Backpulver, alle diese halb vergessenen Dinge tauchten wieder auf und wurden wie neue Offenbarungen diskutiert. Man schalt die Ernährungswissenschaft als rückständig, weil sie sich mit solchen Problemen nicht beschäftigte. Alles zu Unrecht, die Bearbeitung dieser Fragen gehört einer Zeit an, die fast 50 Jahre hinter uns liegt, so daß die Literatur hierüber und auch das Experimentelle selbst ärztlichen Kreisen völlig fremd geworden ist.

Die Frage der Herstellung eines rationellen Brotes, d. h. eines solchen, welches die vorhandenen und erzeugten Nährwerte möglichst ausnützt, wäre eine Aufgabe von fundamentaler Bedeutung, darunter wird aber sicherlich nie ein Einheitsbrot zu verstehen sein, über diese patriarchalischen Zustände sind wir in der Entwicklung hinausgekommen und werden nie wieder dahin zurückkehren, errungene Verbesserungen und höhere kulturelle Ansprüche gehen nicht mehr zurück, nur die Extreme und Ausschreitungen, die damit verbunden sind, werden durch natürliche Gegenreaktion eingedämmt, insofern haben selbst fanatisch betriebene Agitationen oft ihr Gutes. Die „neuen" Richtungen der Agitation erscheinen vielen durch das Vordrängen in die Öffentlichkeit von epochemachender Bedeutung, während sie tatsächlich auf die große Maße nur einen beschränkten Einfluß üben, diese kennt nur zwei Gründe der Wahl: Verbesserung der Geschmacksqualitäten und Billigkeit des Preises.

Seitdem ich durch meine Untersuchungen auf Vor- und Nachteile des Mitverbackens grober Kleie hingewiesen und gezeigt habe, daß die geschlossenen Kleberzellen keine Eiweißstoffe abgeben, sind eine ganze Reihe von Verfahren zur verbesserten Herstellung des Vollkornbrotes entstanden. Aber diese Mahlverfahren haben ausnahmslos bis jetzt das gesteckte Ziel nicht erreicht, sie sind von verschiedenen Seiten auf ihre ernährungs-physiologische Bedeutung geprüft und nicht als voll befunden worden. Es kann nicht wundernehmen, daß man in der Kriegszeit wieder versucht hat, sie

an den Mann zu bringen, in der Hoffnung, daß die allgemeine Einführung eines einheitlichen Vollkornbrotes die Patente rentabel machen werde.

Der Vollkornbrotbewegung schwebt unter den heutigen Verhältnissen nichts Geringeres vor als ein Einheitsbrot, die ausschließliche Vermahlung aller Getreidevorräte zu einem Vollkornmehl. Die Agitationsschriften unterlassen es regelmäßig, anzugeben, wenn einmal ihre Präparationsverfahren experimentell geprüft und als kein Fortschritt bezeichnet worden sind.

Das mangelhafte Ergebnis der Verdaulichkeit solcher Brotsorten sucht man durch die Behauptung zu erklären, daß in der Regel das Brot nur zu wenig gekaut werde; was die Müllerei nicht leisten könne, hätten eben die Zähne des Menschen zu erzielen. Eine solche Behauptung hat der Amerikaner Fletcher aufgestellt, sie ist aber durch keinen einwandfreien Versuch bewiesen. Soweit ich aus meinen früheren publizierten Versuchen (1883) mit einem unter den Vollkornbroten nahezu am günstigsten dastehenden Material habe nachweisen können, werden gröber zermahlene Kleiestückchen beim Kauen und Durchgang durch den Darm kleiner, ich habe schon damals gefunden, daß etwa nur halb so viel grobe Kleie im Kot auftritt wie in dem Brot vorhanden war. Aber auch diese Zerkleinerung, die vermutlich gar nicht allein von den Zähnen geliefert wird, sondern wie ich jetzt zeigen kann, durch teilweises Auflösen der Zellmembranen, bringt ein Zertrümmern der Zellen nur in beschränktem Maße zustande. Mit der Vollkornfrage wurde die Vitaminlehre verknüpft und daraus die Unentbehrlichkeit der Kleie abgeleitet — was selbstverständlich auch noch kein Argument für ein Einheitsbrot wäre, denn wenn man selbst annimmt, die Kleberzellen enthielten Vitamine, so entspricht es dem menschlichen Bedürfnis durchaus, teils Feinbrot, teils Brot aus kleiehaltigem Mehl zu genießen, ganz abgesehen davon, daß gemischte Kost niemals einen Mangel an Vitaminen aufweisen kann.

Und schließlich sollen die Salze des Kornes im Vollkorn zu gewinnen sein, obschon nach dieser Richtung die Versuche auch schon ergeben hatten, daß dem Mehr der Zufuhr stets vermehrte Verluste bei der Verdauung gegenüberstehen. Die einzige Behörde des Staates, welche der Brotbereitung ein tieferes Verständnis entgegengebracht hat, war die Militärverwaltung, welche die Herstellung von Soldatenbrot durch Plagge und Lebbin praktisch einer eingehenden Untersuchung hat unterziehen lassen.[1] Für manche staatliche Nahrungsversorgungen bei Zivilbehörden ist man sogar noch bei der allgemeinen Vorschrift, nur ungebeuteltes Korn zu verwenden, stehen geblieben.

---

[1] *Das Soldatenbrot.* Berlin 1897.

In der Beurteilung des Brotes werden meist zwei verschiedene Fragen durcheinander gemengt, die eine betrifft den Wert, den der einzelne durch den Genuß eines wenig ausgemahlenen Mehles oder eines Vollkornmehles aus dem gekauften Brote ziehen kann. Die Antwort hierauf haben meine Versuche aus Weizenmehl verschiedener Ausmahlung und auch die späteren Versuche von Plagge und Lebbin gegeben, allenfalls ist es möglich, daß das schwächer ausgemahlene Mehl für die Tagesrationen nur etwa 1 g Eiweiß und einige Milligramm weniger an resorbierbarer Asche liefert, dafür aber sichert es einen sehr erheblichen Zuwachs an verdaulicher Stärke, im ganzen also mehr Nährwert als Vollkornbrot.

Die andere Seite des Problems ist eine nationalökonomische oder Frage der Nährwertgewinnung im ganzen; bei gutem Weizenkorn, bei vorheriger Dekortikation kann man aus den gleichen Mengen Korn bei dem Vollkornbrot, wie ich gezeigt habe, mehr verdauliches Material erhalten, weil die abgetrennte Kleie vor allem noch Mehl einschließt, je nach dem Grade der Ausmahlung verschieden viel. Brot bis 80 Prozent trägt noch annähernd den Charakter eines wenig belästigenden Gebäckes, darüber hinaus treten bereits sehr häufig schon Unbequemlichkeiten durch starke Gasbildung und andere unbequeme Nebenumstände auf. Ein robuster Darm kommt darüber hinweg, aber nicht alle Menschen.

Wie das Verdauliche mit der Ausmahlung abnimmt, zeigen folgende Zusammenstellungen für 100 Teile dekortizierten Getreides.

Nach meinen Versuchen am Weizen:

	Trockensubstanz	Organisch	N	Asche
ganzes Weizenkorn dekortiziert liefert Verdauliches .	87·8	87·8	1·42	0·01
bei 70 Proz. Ausmahlung wird erhalten	65·3	65·0	1·13	—

Das ist etwa eines der günstigsten Verhältnisse, die man bei einem Vollkornbrot erhalten kann, wie spätere Versuche haben erkennen lassen. Es wird 30 Prozent Kleie gewonnen und zu anderen Zwecken verfügbar, wenn auf 70 Prozent ausgemahlen wird. Der Gewinn an Trockensubstanz ist zum Teil nicht voller Nährwert, sondern verdaute Zellmembran, wie ich jetzt nachweisen kann, also kein voller Nahrungsgewinn. Die Kleie hatte, wenn man sie zum Brot von 70 Prozent Ausmahlung zugesetzt dachte, den Verdaulichkeitsgrad des 70prozentigen Mehles wenigstens nicht vermindert.

Aus den Versuchen von Plagge und Lebbin würde sich für Roggenbrot ergeben:

resorbiert von 100 Teilen Vollkornmehl.	84·3 Trockensubst.	4·35 Prot.
bei 72 Prozent Ausmahlung	65·2 ,,	6·10 ,,

Dem Gewinn von Trockensubstanz stände also hier ein Eiweißverlust beim Vollkorn gegenüber, auch hier ist der Gewinn nicht reine Stärke, sondern sicher nur zum Teil verdaute Zellmembran. Die beiden Beispiele genügen zum Beweise dafür, daß eine generelle Regelung durch Einheitsbrot zu einem Verlust an Nährwert im Eiweiß ausschlagen könnte, obschon es sich hier noch um eine günstige Vermahlung gehandelt hat.

Die Verdauungsvorgänge sind also selbst bei Ausmahlungsverschiedenheit von etwa 30 Prozent noch von solchem Einfluß, daß sie die Massenverringerung zum erheblichen Teil kompensieren.

Die geringe Verdaulichkeit der Vollkornbrote (und auch jener Brote aus kleiereichen Mehlen überhaupt) wird vielfach nur als durch die beigebackene Kleie bedingt angesehen, sozusagen als der Effekt eines hinzugefügten unnötigen Ballastes.

Das ist aber sicher unrichtig: Es mag daran erinnert sein, daß bei einem aus Roggenmehl $^4/_5$ und Weizenmehl $^1/_5$ ohne Kleieauszug (nach Plagge und Lebbin a. a. O. S. 151) hergestellten westphälischen Landbrot 15·7 Prozent Trockensubstanz und 52·04 Prozent der Eiweißstoffe, bei Vollkornbrot nach Gelink 22·4 Prozent Trockensubstanz und 50·3 Prozent der Eiweißstoffe verloren gehen und ähnliche Beispiele lassen sich viele anführen.

Es kann sich dabei nicht mehr bloß um den Verlust der Kleiezellmembranen handeln, da nach meinen Versuchen so viel als hier abgeht, gar nicht als Zellmembran vorhanden ist, es kann sich auch nicht nur um den Verlust von Eiweiß handeln, das in den Kleberzellen steckt, auch dafür werden sich später Belege finden. Die Gebäcke als ganzes sind minderwertig und Verdauliches geht mit Unverdaulichem ab, Verschwendung höchsten Grades.

Die Vollkornbrote haben für meine Aufgabe der Erforschung der näheren Verdauungsvorgänge des Brotes nur die Bedeutung extremer Fälle der Kleieanreicherung. So wenig wir über diese Brotsorten irgend etwas Abschließendes wissen, so dürftig ist auch die Kenntnis der Brotverdauung irgendwelcher anderer Vermahlungsgrenzen, auch über die feinsten Mehle sind uns die Verhältnisse der Rückwirkung auf den Darm und ähnliches noch unbekannt oder doch unbewiesen. In manchen Fällen ist bei Brotausnützungsversuchen die Rohfaserbestimmung mit herangezogen worden. Es fällt uns dabei eine gewisse Schwankungsbreite auf, auch bei Versuchen von R. O. Neumann, die während der Kriegszeit ausgeführt sind, finden sich bei derselben Person recht bemerkenswerte Unterschiede, welche auf „biologische Schwankungen“ der Ausnützung der Zellmembranen hinweisen. Man wird also diesem Umstande in Zukunft die Hauptbeachtung schenken müssen, weil sich daraus allein schon eine Aufklärung über ungleiche Versuchsergebnisse bei verschiedenen Personen ergeben.

Es ist aber nicht auszuschließen, daß sich unter der Bezeichnung Rohfaser vielleicht oder man darf besser sagen, mit Sicherheit Verschiedenheiten der Zusammensetzung der Zellmembran verbergen, die ohne ins einzelne gehende Untersuchung nicht aufzuklären sind.

Neue Versuche über die Verdaulichkeit von Weizenbrot.

Bei dem Brot handelt es sich um ein Nahrungsmittel, das zu den alltäglichen gehört, von einer Fremdartigkeit kann daher keine Rede sein, ein Versuch mit ausschließlicher Brotnahrung wird also gut ertragen, da sie gewohnte Nahrung ist. Es wird bei uns kaum jemanden geben, der nicht in seiner Kost mehr oder minder reichlich Brot aufzunehmen pflegt. Ausnahmsweise findet sich ja wohl schon häufig der ausschließliche Weißbrotgenuß, keineswegs aber nur in den besser situierten Klassen, sondern kaum minder häufig unter den wenig gut gestellten Leuten.

Ich bin bei der Ausführung solcher Versuche dabei geblieben, nur Brot mit Zugabe von Fett als Nahrung zu geben, um jede anderweitige Komplikation der Versuche und ihrer Berechnung auszuschließen. Auch mit dieser einfachen Versuchsanordnung kann man vier- oder sechstägige Versuche recht gut durchführen. In manchen Fällen war es möglich, eine Gruppe von Personen zu erhalten, was für die Gewinnung von Mittelwerten recht willkommen ist, allerdings aber, wenn man, wie dies geschah, den einzelnen Bestandteilen in der Resorption nachgeht, eine solche Fülle von Analysen notwendig macht, daß bei dem Mangel an Arbeitskräften die anstrengendste Arbeit nötig war, um die Analysen zu Ende zu führen.

Die nachfolgenden eigenen Untersuchungen sind über die üblichen Feststellungen (Asche, N, Fett) auf die Verbrennungswärme, die direkte Bestimmung der Stärke, auf Pentosen, die Zellmembran und ihre Bestandteile ausgedehnt worden.

Die Versuchsreihen werden zeigen, daß wir in der Lage sind, die Gründe der ungleichen Resorbierbarkeit mit großer Bestimmtheit anzugeben und vor allem die nicht resorbierten Produkte von den übrigen Kotbestandteilen zu trennen.

Mit Rücksicht auf das Brotgetreide muß ich eine allgemeine Betrachtung, welche auf den Aufbau dieses Nahrungsmittels etwas näher Bezug nimmt, vorausschicken. Die nährenden Bestandteile sind die Teile des Mehlkernes, bestehend aus Stärke, den Klebereiweißstoffen und geringen Mengen anderer Eiweißstoffe des Mehlkernes, ferner jenes Eiweiß, das in den Kleberzellen enthalten ist und der Zellen des Embryos, eiweiß- und fetthaltig. Diese Substanzen finden sich als Inhalt von Zellen mit feinen

oder dickeren Zellwänden. Von den Zellen der Frucht und Samenhaut sind viele anscheinend nährstoffrei. Jedenfalls gehören alle Zellmembranen zu den nicht unmittelbar verdaulichen Nahrungsstoffen. Die bei der Ausbeutelung des Mehles abfallende Substanz nennt man kurzweg die Kleie, sie ist ein Handelsbegriff, in Wirklichkeit ein Gemenge von nährenden Bestandteilen und der Zellmembranen verschiedener Art. Was als Zellmembran in einzelnen Mehlsorten vorhanden ist, kann demnach etwas sehr Wechselndes sein.

Das Mehl kann je nach seiner Zubereitung alle diese Zellmembranen enthalten, oder es kann die Fruchtschale im wesentlichen abgetrennt sein (dekortiziertes Mehl) oder bei sehr scharfer Schälung auch die Kleberzellenschicht wegfallen, oder der Keimling entfernt sein. Man wird bei Handelsmehlen auch bei gleichem Rohfasergehalt nie wissen, was man in Händen hat, zumal das Verhältnis der Zellmembran zum Mehlkern durch Mischung verschiedener Zermahlungen beliebig verschoben werden kann.

Die Natur dieser verschiedenen Zellwände und sonstigen Bestandteile des Mehles ist bisher einer Untersuchung nicht unterzogen worden; bei den mannigfachen morphologischen Unterschieden kann man aber auch chemische Unterschiede voraussetzen und beides wird auch auf das Verhalten bei der Verdauung von Einfluß sein können.

Es muß sich demnach von selbst verstehen, daß Versuche über die Ausnützung von Brot ohne Kenntnis dieser Verhältnisse und speziell ohne Feststellung des Anteils, den die Zellmembranen im Kot nehmen, für eine Klarlegung der Ursachen der Resorption unverwertbar sind. Es wird auch weiter zu untersuchen sein, ob nicht Unterschiede in der Resorbierbarkeit der Rohfaser, die ich z. B. zwischen Feinmehl und Vollkornmehl fand, und manche Unterschiede, wie sie in dieser Hinsicht zwischen verschiedenen Beobachtern zu finden sind, auf solche grundsätzliche Verschiedenheiten der Zellmembran zurückzuführen sind. Man kann schon jetzt mit Bestimmtheit sagen, daß die Vollkornbrote des Handels in der Beschaffenheit der Zellmembran sehr verschieden sind, so daß die Resultate der Versuche schon deshalb voneinander abweichen. Die Technik war bis jetzt gar nicht in der Lage, den Wert der Verbesserungen des Mahlverfahrens sicher zu beurteilen.

Es ist daher notwendig, die Verdaulichkeit des Brotes im Zusammenhang mit diesen ursprünglichen Verschiedenheiten der Zellmembran genau zu untersuchen. Von der bei der Dekortizierung abfallenden Membran und den Zellhüllen der Gesamtkleie ist mir durch Analyse bekannt, daß zwischen beiden insofern kein wesentlicher Unterschied besteht, als sie sich chemisch wenigstens nicht unterscheiden. Unbekannt ist vorläufig die Zusammensetzung der Membran des Mehlkernes. Sie läßt sich auch nicht mechanisch

von der Mehlsubstanz trennen. Die Keimlinge dagegen sitzen ziemlich locker in den anderen Geweben und können allerdings im Zusammenhange mit etwas Kleberzellen abgeschieden werden. Auf die Bedeutung der letzteren werde ich in einer besonderen Arbeit näher eingehen.

Einige wichtige Beobachtungen über das Verhalten der reinen Zellmembran der Kleie (dekortizierten Mehles) habe ich bereits mitgeteilt. Sie beziehen sich auf tunlichst durch nicht eingreifende Mittel gewonnene Membranen.

Am Tier stellt sich die Kleiezellmembran etwas besser in der Resorption wie Birkenholzschliff; sie steht also in einiger Beziehung zu den Holzmembranen.

Der Hund vertrug die Kleie ohne Steigerung seiner Stoffwechselprodukte des Darmes. Von dem in der Kleie vorhandenen N waren 31·1 Prozent zu Verlust (nicht Gesamt N-Verlust) gegangen. Im Kot waren enthalten außer der Kleiezellmembran und dem Inhalt der Kleberzellen auch noch reichlich ungelöste Pentosen. Von den Pentosen waren pro Tag 7·04 g als freie Pentosen gefüttert worden. Im Kot fanden sich aber frei 9·88, es sind also noch aus Zellmembran abgespaltene Pentosen dazu gekommen.

Die Zellmembran selbst hatte einen Verlust von 44·7 Prozent, die Zellulose einen solchen von 75·04 Prozent, die Pentosen der Zellmembran gingen nur zu 38 Prozent mit der Zellmembran wieder ab, das übrige blieb zum Teil gelöst, aber wie schon bemerkt, unresorbiert liegen. Auch von den Ligninen usw. wird resorbiert. Für die Auflösung kommt die morphologische Eigenart der Zellmembranen in Betracht und die Wege des Angriffs sind, wie Haberlandt mikroskopisch zeigen konnte, in den verschiedenen von mir ausgeführten Versuchen recht verschieden gewesen. Die einzelnen Formelemente werden verschiedenartig angegriffen. Die Zellmembranen nehmen unter den Ausscheidungen bei Brotnahrung eine viel bedeutendere Stellung ein, als man nur nach dem Rohfasergehalt erwarten sollte. Es wird also für den Menschen die Feststellung dieser Resorptionsverhältnisse ein oder das wesentlichste Element darstellen.

Von der Lösung der Zellmembran wird in den meisten Fällen überhaupt auch der Ausnützungsgrad des Eiweißes mit abhängen. Man sieht das schon aus der engen Beziehung zwischen Rohfasergehalt der Mehle und der Eiweißausnützung. Darauf habe ich in einer Arbeit von Wicke an der Hand von Versuchen über dekortizierten Weizen und Roggen zuerst hingewiesen.[1]

Auch die Gesamtmenge des Verlustes an organischen Bestandteilen geht damit im wesentlichen Hand in Hand. Die Rohfaser selbst aber zeigte in der Verdaulichkeit insofern Unterschiede, als dort, wo wenig vorhanden

[1] *Arch. f. Hyg.* 1890. Bd. XI. S. 363.

war, relativ mehr verdaut wurde, wie bei höherem Holzfasergehalt (48·9 Prozent im Minimum, 95·9 im Maximum). Die bei der Dekortikation abfallende Außenhaut des Kornes erwies sich auch schlechter resorbierbar als die Kleberschicht und Fruchtschale. Vergleiche über Mahlverfahren und Verbesserungen der Technik können nur an Ausgangsmaterial von der gleichen Zellmembranart angestellt werden. Bloße Angaben über den Ausnützungsgrad dieser oder jener Brotsorte haben ohne Rücksicht auf diesen Umstand keine Bedeutung, weder im Hinblick auf die Verluste an organischer Substanz noch im Hinblick auf die Resorption von Eiweiß.

Dies hängt mit dem Einschluß des Kleberzelleneiweißes in den Zellen, offenbar schwer auflösbaren Zellen, zusammen, wie ich zuerst 1883 ausgeführt habe. Die energischere Vermahlung der Kleie auf trocknem Wege führt zu keiner sehr weitgehenden Öffnung der Kleberzellen, denn bei den neueren Vollkornbroten bleibt der Verlust an Substanz im allgemeinen und der Verlust an Eiweiß etwa auf der Höhe, wie ich ihn 1883 gefunden habe, ja er scheint mehrfach noch höher. Beide Momente bedingen einen Verlust, der so groß ist, daß ein Esser von feinem Weißbrot kaum eine Einbuße an Eiweiß oder Salzen erleidet, wohl aber einen nicht unerheblichen Gewinn an Nährstoffen (Stärke) zu verzeichnen hat.

Die Versuche nach dem Uhlhorn- oder Steinmetzverfahren, die Resorption zu steigern, sind ohne Erfolg geblieben.

Der negative Erfolg solcher Versuche wird gewissermaßen durch zwei Versuchsreihen zusammengefaßt, der älteren von Poggiale lange schon vergessenen, wobei Kleie an einen Hund gefüttert, gewaschen, nochmals gefüttert, wieder ausgewaschen und an Hühner gefüttert wurde, worauf noch immer $^1/_3$ so viel N wie zu Anfang in der Kleie vorhanden war. Ferner haben Plagge und Lebbin in eigener Verarbeitung Kleie feinst gemahlen, bis sie durch ein Sieb von $^1/_5$ mm Weite hindurch ging, und immer noch 56·3 Prozent N Verlust gefunden bei 43·2 Prozent Verlust der Trockensubstanz (a. a. O. S. 149). Ich habe schon früher den Verlust des N der Kleie auf Grund meiner eigenen Versuche auf 38·9 Prozent angenommen. Da die Kleie auch noch Mehlteile enthielt, wären die Verluste der reinen Schalen natürlich noch relativ größer.

Plagge und Lebbin gehen wohl zu weit, wenn sie dem Kleberzelleneiweiß so gut wie gar keinen Wert beilegen, denn die Resorbierbarkeit hängt, abgesehen von der mechanischen Zermahlung der Kleberzellen, auch sonst von der Zellmembranauflösung oder wie man sagt, von der Verdaulichkeit der Zellulose ab. Allerdings ist gerade bei reichlichen Mengen von Rohfaser stets das Auflösungsvermögen gering gefunden worden (s. die Versuche von R. O. Neumann).

Inwieweit Aufschließungsverfahren der Kleie Erfolge erzielen, das soll später in einer besonderen Abhandlung an der Hand von Versuchen gezeigt werden.

In Fällen mit guter Zellmembranlösung liegt das Eiweiß dann frei vor. Mein Veruchshund verdaute etwa die Hälfte der Zellmembran und damit auch entsprechend Kleberzelleneiweiß. Wenn im Darm die Bedingungen zur Zellmembranlösung vorhanden sind (diese scheinen wechselnd zu sein), so wird sie gelöst, gleichgültig, ob sie ganz fein oder mittelfein zermahlen ist.

Es wäre von größtem Interesse, wenn man sich überhaupt ein Bild von dem Nutzen machen könnte, den die Eiweißstoffe in den Kleberzellen haben können, damit man wüßte, was dann der günstigste Endeffekt aller Aufschlußbestrebungen sein kann. Immer wieder wird man sagen können, wenn nur die Zellwand gelöst ist, dann wird das Eiweiß auch nutzbar. Die Verdaulichkeit setzt sich also, wenn kein freies Klebereiweiß vorhanden ist, aus zwei Komponenten zusammen:

a) aus der Auflösung der Zellmembran,

b) aus der spezifischen Verdaulichkeit des Kleberzelleneiweißes.

Daß letzteres in Verdauungssäften löslich sein muß, ergibt sich aus künstlichen Verdauungsversuchen, die ich mit den Kleberzellen angestellt habe, die zum Teil angebrochen waren; ähnliche Beobachtungen hat später auch Finkler gemacht. Künstliche Verdauungsversuche beweisen allerdings nicht viel.

Ich habe die nötigen Unterlagen, um annähernd die Verdaulichkeit des Kleberzelleneiweißes im Körper zu berechnen. Zunächst erinnere ich an die Versuche, welche ich mit gereinigtem Kleiematerial an Hunden angestellt habe. Wenn man unter Abrechnung der Stoffwechselprodukte des Kotes die Berechnung anstellt, habe ich für die betreffende Kleie 32 Prozent N-Verlust gefunden, welche nur auf Kleberzelleneiweiß trafen, die weitere Überlegung sagt folgendes:

In möglichst gereinigten, d. h. stärkefreien Zellmembranen (Weizenkleie) fand ich noch 2·33 Prozent N = 14·78 Protein, auf reine aschefreie Zellmembran gerechnet pro 1 g 0·21 Protein. Im Weizen sind durchschnittlich 13·89 Prozent N-Substanz; da man nach meinen Untersuchungen etwa 11 Prozent Zellmembran im Vollkorn (ohne Dekortikation) annehmen kann, und auf 1 Teil dieser Zellmembran 0·21 g Protein treffen, so liegt in der Kleberzellenschicht etwa 2·31 g Protein, d. h. 16·8 Prozent des Gesamteiweißes; als echter Kleber usw. ist vorhanden 11·58 g Protein, d. h. 83·2 Prozent des Gesamteiweißes. Von reinem Kleber werden (ohne Rücksicht auf die Stoffwechselprodukte) nur 5 Prozent nach meinen Versuchen oder noch weniger verloren. Von dem Inhalt der Kleberzellen sind, wenn 55 Prozent

der Zellmembran gelöst werden, 32 Prozent N verloren gegangen.[1] Wenn demnach von den 2·31 g Protein als Kleberzelleninhalt 55 Prozent frei werden = 1·27 g und 32 Prozent des N der Gesamtkleie unausgenützt verloren werden = 0·74 g in diesem Falle, so ist die wahre Ausnützung des freien Eiweißes der Kleberzellen, die man bisher ja nicht kennt, 41·8 Prozent und der Verlust 59·2 Prozent. Das würde also dafür sprechen, daß dieses in den Kleberzellen eingeschlossene Eiweiß wirklich weit schlechter resorbiert worden ist, wie die wahren Kleberstoffe. Damit scheint der jahrzehntelange Streit auf die einzige Basis gestellt, die zur Lösung und zum Verständnis beitragen kann. Somit würde der Verlust bei der Ausnützung von allen im Korn enthaltenen Eiweißstoffen, auch wenn alle Zellen gelöst würden, 13·54 Prozent betragen. Nimmt man, um für einen praktischen Fall ein Bild zu geben, als verzehrt pro Tag 600 g Mehl = 83·4 g Protein als Nahrung eines Mannes, so wäre der ganze Verlust = 11·28 g Protein, wozu noch 1·3 g N im Kot als

Stoffwechselrest = 8·12 g Protein hinzukäme,
Gesamtverlustsumme = 19·4 g Protein.

Der Verlust nach üblicher Berechnung der Ausnützung wäre dann mindestens rund 23·3 Prozent. Es kann aber doch fraglich sein, ob es eine spezifische Ausnützung des Kleberzelleneiweißes dieser Art gibt. Denn es ist denkbar, daß sich dieses Eiweiß nur deshalb als schlecht resorbierbar zeigt, weil es erst im Dickdarm bei Lösung der Zellmembranen frei wird, also an einer Stelle liegt, welche für die Resorption weniger geeignet ist als der Dünndarm mit seinem Fermentreichtum und Mitteln zur Resorption. Wir wissen zwar, daß der Dickdarm resorptionsfähig für geringe Mengen von Nährstoffen und zwar auch für Eiweißstoffe ist, doch könnte es eben an Fermenten fehlen, um diese Kleberzelleneiweißstoffe so aufzuspalten, daß sie resorbierbar sind. J. Möller, der den Stuhlgang von einigen Ausnützungsversuchen von Prausnitz untersucht hat[2], sagt allerdings von dem mikroskopischen Bild nach Pflanzenkost, daß Kleberzellen mit unversehrtem Inhalt vorkommen, sogar dann, wenn die Zellen durch die Verdauungssäfte isoliert worden waren. Solche Bilder mit angerissenen Kleberzellen und wohl erhaltenem Inhalt habe ich auch gesehen, dies spricht allerdings wieder für die schwierige Resorption. Ich muß daher diese Frage vorläufig noch für unentschieden lassen in dem Sinne des kausalen Zusammenhanges, möglicherweise erlauben spätere Versuche mit besonders vorbereitetem Material einen definitiven Entscheid. An der Tat-

---

[1] S. *dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 143.

[2] *Zeitschr. f. Biol.* 1897. Bd. XXXV. S. 304.

sache, daß diese Eiweißstoffe schwer resorbierbar sind, ist aber nicht zu zweifeln, ich kenne keine Ergebnisse, welche auf eine bessere Ausnützung hinweisen. Die Stellung des Kleberzelleneinweißes in der Rolle des Pflanzenstoffwechsels ist noch immer nicht allgemein richtig erkannt. Nur zu häufig wird wegen des Namens angenommen, es handele sich um dieselben Substanzen, die wir sonst als Kleber nennen. Mit letzteren hat das Kleberzelleneiweiß nichts zu tun.

Man hat früher die Kleberzellenschicht mit ihrem Inhalt allerdings als einen Reservebehälter aufgefaßt, aus dem das Eiweiß für die keimenden Pflanzen zur Verfügung gestellt würde. Aber die Untersuchungen von Haberlandt[1] haben endgültig bewiesen, daß die Kleberzellen als ein Drüsenorgan aufzufassen sind, das bei der Keimung vom Keimling aus zur Sekretion von Diastase angeregt wird und im weiteren Verlauf des Keimens (unter Verfettung) verkümmert. Solche Drüsengewebe kommen nach Haberlandt bei Getreide und Grasarten weit verbreitet vor, selbst bei ölhaltigem Samen, wo sie vielleicht statt Diastase andere Fermente, d. h. fettumsetzende sezernieren.

Man kann also nicht behaupten, daß der Kleberzelleninhalt in direktem Zusammenhang mit den Umsetzungen der Eiweißstoffe in den keimenden Pflanzen steht und an sich zur Vollwertigkeit des Gesamteiweißes des Weizen- und Roggenkornes für die Pflanze notwendig ist.

Mit der Natur von Drüsenzellen verträgt sich auch ein gewisser Reichtum an Nukleinverbindungen, wie er für das Kleberzelleneiweiß mehrfach behauptet worden ist. Es wäre sehr zweckmäßig, wenn man es entsprechend anders benennen wollte, um der Verwechslung aus dem Wege zu gehen, vielleicht kann man es Kleieeiweiß nennen, um so seinem Vorkommen gerecht zu werden.

Der Zerfall des Kleieeiweißes erfolgt nach einer privaten Mittelung von Haberlandt erst zu einer Zeit, wo die Pflanze einer weiteren Nahrungszufuhr von präformiertem Eiweiß oder deren Spaltprodukten nicht mehr bedarf.

Nach den üblichen Angaben ist man der Anschauung, daß die Kleie reich an Salzen ist, weil das stärker ausgemahlene Mehl reicher an Asche ist. Mehle enthalten lufttrocken

Marke 0	0·31	Prozent	Asche[2]
„ 1	0·36	„	„
„ 4	0·58	„	„
„ 6	0·98	„	„
„ 8	2·24	„	„

[1] *Ber. d. deutschen Botan. Gesellschaft.* 1890. Bd. VIII.

[2] Vedrödi, *Zeitschr. f. angew. Chemie.* 1893. Heft 12.

Plagge und Lebbin geben für Handelskleie 4·46 Prozent Asche. Man nimmt an, daß diese Salze zum Aufbau der Zellmembran gehören.

Diese Aschebestandteile sind bei den Pflanzen aber nicht notwendig, um harte Gebilde zu erzeugen. Viele sehr harte Produkte enthalten ungemein wenig Asche, wie ich bei Haselnußschalen, Dattelkernen, Kaffeebohnen gezeigt habe, auch die Zellulose selbst ist nach meinen Versuchen zur Erzielung von Härte nicht notwendig, dazu reichen die Hemizellulosen vollkommen aus. Man kann Zellulosefasern mit Erhaltung der natürlichen Struktur herstellen, mit verschwindendem Aschegehalt. Durch einfaches Auswaschen mit Wasser erhält man Kleie von 2·5 Prozent Aschegehalt. Die von mir auch aus Kot hergestellten Zellmembranen waren äußerst aschearm, obschon man mit der Masse von Zellmembranen im Kot die Ascheausscheidung sich stark mehren sieht. Nicht einmal die Kieselsäure in den Gräsern spielt eine wesentlich härtende Rolle in dem Aufbau.[1] Es ist daher wohl möglich, daß diese Salze, welche man in den Membranen findet, Verunreinigungen der kolloiden Massen der Zellmembranen sind[2], daß sie also zum eigentlichen und ersten Aufbau der keimenden Pflanzen gar nicht gehören. Der größere Reichtum an Aschebestandteilen in Mehlsorten mit Kleie erweist sich entweder in der Regel als für den Körper praktisch entbehrlich, da die Ascheausscheidung von Salzen im Kot allein meist ebensogroß ist wie die Einfuhr überhaupt. In kurz dauernden Versuchen läßt sich in dieser Hinsicht über den Aschestoffwechsel kein Entscheid bringen, daher soll diese Frage hier von der Besprechung ausscheiden, jedenfalls besagt der größere Aschereichtum kleiehaltiger Brotsorten nichts für die wirkliche Befriedigung des Bedürfnisses nach Salzen.

Versuche mit feinem Weizenmehl.

Die Verdaulichkeit der Mehle hängt eng mit deren Zellmembrangehalt zusammen, vorläufig habe ich Beispiele dafür schon gegeben. In einem selbst bereiteten Vollkornweizenmehl fand ich bis 11 Prozent Zellmembranen. Die einzelnen aus demselben Korn hergestellten Mehle werden sich recht wesentlich in ihrem Zellmembranengehalt unterscheiden, was man aber freilich nur höchst unsicher aus dem verschiedenen Rohfasergehalt wiedererkennen kann. Es finden sich in der älteren Literatur darüber Angaben, die den feinsten und mittleren Mehlen nur Spuren von Rohfaser zuschreiben. Ich selbst fand für ein Weizenmehl

---

[1] Ladenburg, *Chemie*. 1872. Bd. V. Lange, *ebenda*. 1878. Bd. XI.

[2] S. auch C. Schwalbe, *Chemie der Zellulose*. S. 35.

bei 30 Prozent Ausmahlung 0·2 Prozent Rohfaser[1]
„ 80 Prozent „ 0·43 Prozent „

und für das Vollmehl aus dekortiziertem Weizen 1·51 Prozent Rohfaser. Auch gibt es sogenannte Auszugsmehle, die noch vollkommener von allen Kleiebestandteilen befreit sind, als das eben angeführte von 30 Prozent Ausmahlung. Analysen darüber scheinen bezüglich des Zellulosegehalts nicht vorzuliegen. Es kommt aber wesentlich auf die Art des Mühlenbetriebes an; auf diese Unterschiede des Vermahlens mag kurz verwiesen sein. Gerade bei den minderen Mehlen kann die Menge der Kleiebestandteile viel größer sein, als das ganze Korn im Druchschnitt enthält, weil besonders bei der Hochmüllerei der Mehlkern für sich die feinsten Mehle liefert, die restierende Kleie sich auf den Rest des nach Absiebung der feinsten Sorte Mehl zurückbleibenden Anteils verteilt.[2]

Zweifellos kommen aber große Unterschiede bei den Handelsmehlen vor, weil das Korn an sich schon erhebliche Schwankungen auch der Mittelzahlen für die Rohfaser zeigt, bei König, Bd. I, S. 461, liefert Winterweizen (bei 13·37 Prozent Wasser) 2·31 Prozent Rohfaser und Sommerweizen 1·81, im einzelnen sind die Unterschiede aber weit größer (bis 5 Prozent Rohfaser). Große Körner haben weniger, kleine mehr an Rohfaser.

Wahrscheinlich fallen aber die Rohfaserbestimmungen je nach dem Grade der Vermahlung und der Feinheit der Zerkleinerung ungleich aus und die Formelemente können bei feinen und gröberen Mehlen nicht dieselben sein. Das wäre aber für die Verdauungsmöglichkeiten das Entscheidende, wie sich aus meinen anderweitigen Beobachtungen immer wieder gezeigt hat. Über das Verhältnis von Zellmembran aus dem Mehlkern und der Fruchtschale ist bisher nichts bekannt.

Einen gewissen Maßstab für den Zellmembrangehalt an Kleie gibt der Pentosangehalt; 45·87 Prozent der Pentosane sind beim Vollkorn in den Zellmembranen enthalten, und da die Zellmembranen 42·02 Prozent Pentosen enthalten, muß kleiearmes Mehl auch stets pentosanarm sein. Feines Weizenmehl enthielt nur 4·68 Prozent Pentosan[3] und nur mehr 11·2 Prozent der Rohfaser, die im Vollkornmehl enthalten sind.

Ein Versuch mit Brot aus Mehl von 30 Prozent Ausmahlung, den ich 1882 ausgeführt habe, ergab bei reiner Brotkost bei 613·3 g aschefreier

[1] Allerdings muß man damit rechnen, daß hier feinst zermahlenes Material vorliegt, wodurch die Löslichkeit bei der Rohfaserbestimmung auch wächst.

[2] Erfahrungen an Berliner Kriegsbroten haben es wahrscheinlich gemacht, daß man von dem Mehl in den Bäckereien feinere Anteile abgesiebt hat.

[3] Roggenmehl von 65 Prozent Ausmahlung, 4·0 Prozent Pentosan.

Trockensubstanz[1] pro Tag als Nahrung 22·4 organ. Kotbestandteile, letztere können hauptsächlich als Reste der Stoffwechselprodukte aufgefaßt werden. Denn im Kot war so gut wie nichts an Stärkemehl zu finden und der Gehalt an Zellmembran wird etwa 3 g pro Tag nach meinen Erfahrungen betragen haben. Der Verlust an Rohfaser, den ich in meiner Publikation nicht mitgeteilt habe, aber jetzt ergänzen will, war nur 47·1 Prozent.

In der Zeit, als die nachfolgenden Versuche von Dr. Kohlrausch ausgeführt werden sollten, war mir eine freie Wahl des Mehles nicht mehr möglich, ich erhielt aber durch die Z. E. G. die beste Sorte Weizenmehles, welche zu haben war; nach dem Pentosengehalt entsprach sie den zu stellenden Anforderungen, der Aschegehalt war höher, als er den besten Mehlsorten entspricht.

Das nähere Detail der Analysen ist aus dem Nachfolgenden zu ersehen:

Aus 1500 g Mehl wurde mit 85 g Hefe und 50 g Salz Brot gebacken = 3 Laibe mit 2314 g Gewicht, wovon 2154 g Brot in 3 Tagen verzehrt wurden = 1396 g Mehl, im ganzen = 465·4 g pro Tag. Die Versuchsperson K. wog rund 63 Kilo ohne Kleider.

Das Mehl hatte lufttrocken folgende Zusammensetzung:

		für 100 Teile	465·4 g pro Tag
	Trockensubstanz	90·15	419·5
	Asche	0·45	2·1 (ohne Kochsalz)
	Organisches . .	89·70	417·4
	Gesamtpentosen	3·69 = 3·36 Pentosan	16·2 = 15·2 Pentosan
Im Brot[2] best.	Zellmembran . .	2·66 mit 0·19 ,,	13·4 mit 0·88 ,,
Im Brot[2] best.	Zellulose	1·24	5·8
Im Brot[2] best.	Restsubstanz, Lignine usw. .	1·23	5·7
	N	1·87 = 11·72 Rohprotein	8·7 = 54·4 Rohprot.
	Fett	1·12	5·2
	kg-cal.	392·2	1825·2

Das Brot hatte 57·93 Prozent Trockensubstanz und in 100 Teilen der letzteren

Asche	1·01 (bzw. Kochsalz)
Organisches	98·9
N	2·15 = 13·42
Fett	0·79
Kalorien	437·2

[1] Bei 0·37 Prozent Asche der Trockensubstanz.

[2] Eine Rohfaserbestimmung wurde nicht ausgeführt.

Auffallend ist hier die Zusammensetzung der Zellmembran, sie entspricht nicht der Kleie, 100 g enthielten:

Zellulose	42·1
Pentosan	7·5
Lignine usw.	50·4

Der Pentosangehalt ist außerordentlich gering, der Zellulosegehalt höher als der der Kleie, man muß also annehmen, daß bei der feinen Ausmahlung andere zellulosehaltige Teile erscheinen als dann, wenn die äußere Schale sich reichlicher beimengt, was möglich erscheint.

In der Tat war die Menge der sichtbaren Kleieteilchen außerordentlich gering gegenüber einem weißen, mehr flockigen Material. Diese Zellmembran ähnelt in ihrer Zusammensetzung fast ganz der Zellmembran der Kartoffel (ohne Schale), hier wie dort handelt es sich um die Scheidewände der mit Stärke gefüllten Zellen. Diese Zellmembran des Mehlkernes haben also nichts mit der Frucht und Samenhaut, die sonst vorherrscht, zu tun.

Die Ausscheidungen betrugen 188·2 g frisch = 54·8 tr. Kot = 18·3 g pro Tag.

	In 100 Teilen Kot sind:	In 18·3 g Kot:
Asche	17·5	3·2
Organisches	82·5	15·0
Gesamtpentosen	5·86 = 5·19 Pentosan	1·07 = 0·96 Pentosan
Zellmembran	16·68 mit 2·1 g ,,	3·05 mit 0·38 ,,
Zellulose	6·96	1·27
Rest	7·72	1·4
N	5·83	1·07
Fett	13·85	2·42
Kalorien	450·6	82·4

Was zunächst auffällt, ist die außerordentlich gute Ausnützung, die man ohne weiteres erkennt, auch ohne in eine genauere Rechnung einzugehen. Als was ist diese Kotmenge anzusehen, als Stoffwechselrest oder als Nahrungsrest? Jedenfalls ist der letztere hier ganz verschwindend klein.

Von dem Stoffwechselrest ist bisher wenig bekannt geworden, es wird notwendig sein, hierauf einzugehen. Über einige Beobachtungen am Hunde bzw. Tieren mag folgendes aus meinen früheren Versuchen mitgeteilt sein. Der Kot frei von Nahrungsresten, wie er z. B. bei Hunger oder Fleischfütterung auftritt, ist ganz Stoffwechselprodukt.

Für den Hungerkot habe ich beobachtet, daß er mit der Eiweißzersetzung des Tieres im Zusammenhang steht.[1] Ebenso habe ich für die Fleisch-

[1] Rubner, *Gesetze des Energieverbrauchs.* 1902. S. 30.

fütterung gezeigt, daß bei Unterschieden des Umsatzes um das Zehnfache auch die Kotmenge um das gleiche Verhältnis schwankt. Bei einem Umsatz von 3937 Fleischkalorien waren die Kotkalorien 93·1, bei 403 Fleischkalorien 11·5 (a. a. O. S. 31), im Mittel 2·5 Prozent Verlust an Kalorien. Bei den kleinen Nahrungsmengen etwas mehr, weil ja auch die Verdauungssäfte z. B. auch die Galleausscheidung vom Stoffumsatz abhängig sind. Für den Menschen könnten zwei meiner Versuche herangezogen werden; in analoger Weise berechnet, zeigt sich, daß die Kalorienmenge des Kotes rund 4·7 Prozent der Zufuhr ausmacht, d. h. etwas mehr als für den Hund berechnet wurde, während die N-Ausnützung für Mensch und Hund übereinstimmt. Die Menge des beim hungernden Menschen ausgeschiedenen trockenen Kotes betrug

bei Cetti . . . . . 3·8 g pro Tag
bei Breithaupt . . 2·00 „ „ „ mit 0·316—0·133 g N.

Für die vegetabilische Kost besitzen wir bisher keine sicheren Unterlagen für die Frage, wie groß die Stoffwechselprodukte sein mögen. Der Versuch, welchen ich zu diesem Zwecke beim Menschen mit N-freier Kost angestellt habe, gab für 600 g Stärke und Zucker (außerdem 157·8 g Fett) 23·1 g organische Kotsubstanz, was einem Verlust von 3·85 Prozent gleichkäme, dieser Wert ist aber offenbar nicht ein Ausdruck der geringsten Leistung des Darmes. Der vorliegende Brotversuch läßt die Menge der Kotstoffwechselprodukte offenbar als viel geringer bemessen.

Die Menge des im Kote ausgeschiedenen Organischen beträgt hier 15·0 g pro Tag, davon kommen 3·05 Zellmembran und 0·6 Pentosan zum Abzug, so daß 11·4 g, die als Stoffwechselprodukte betrachtet werden können[1], übrig bleiben. Die N-Ausfuhr betrug nur 1·07 g pro Tag. Man könnte annehmen, daß dies nur noch Stoffwechselprodukte waren, weil ich bei reichlicher N-freier vegetabilischer Ernährung etwa noch 1·3 g N in dem Kote gefunden habe, allein etwas an N-Substanz ist sicher doch noch mit der Zellmembran, die noch N enthielt, verloren gegangen.

Im Verhältnis zur Zufuhr war die Menge von organischen Bestandteilen im Kot — ausschließlich der Zellmembran usw., — sehr gering = 2·46 g pro 100 Teile organischer Trockensubstanz der Zufuhr, bei einem Versuch mit 613·3 g Brot (30 Prozent Ausmahlung) hatte ich früher 22·6 g organische Bestandteile am Kot gefunden und wenn man die Verluste an Zellmembran und Pentosan für diesen Versuch proportional dem vorigen Versuch schätzt, so kommen 5·5 g zum Abzug = 17·1 g organisch = 2·78 g für 100 g trockne

[1] Von kleinen Mengen Bakterien abgesehen.

Zufuhr, was für verschiedene Versuchspersonen genügend nahe übereinstimmt.

Einen ähnlichen niederen Wert fand ich, allerdings ohne daß es möglich wäre die Zellmembran zu berechnen, bei Kartoffel bei 516 g Trockensubstanz als Zufuhr, nämlich 3·2 pro 100 Teile Nahrung (16·99 g organische Kotmenge pro Tag).

Es scheint aber sicher zu stehen, daß man bei reiner Brotkost noch wesentlich weniger an Stoffwechselprodukten im Kote finden kann. Thomas hat in seinen Arbeiten über die biologische Wertigkeit einen 6 Tage währenden Versuch mit feinstem Weizenmehl (Marke 00), das wir damals hatten erhalten können, als reinen Brotversuch ausgeführt. Der Versuch ist vom Standpunkte der Ausnützung durch Thomas nicht betrachtet worden, weil dies außerhalb der gestellten Fragen lag. Ich lasse daher die Originalzahlen in anderer Gruppierung hier folgen.

Thomas. Brotversuch II. (Biol. Wertigkeit S. 283.)

5121 g lufttrockenes Mehl (Weizen 00)	= 4439 g trocken (86·68 Proz.)	mit 93·05 g N (1·82 Proz.)	und 59·9 g Fett (1·17 Proz.)
88·3 g Hefe	= 33 g trocken (26·1 Proz.)	mit 2·08 g N (2·36 Proz.)	
99 g Kochsalz	= 99 g trocken.		
7402 g Brot	= 4561 g trocken	= 95·9 g N	

davon

Einnahme in 6 Tagen		pro Tag	Kot	pro Tag	Proz. Verlust
Brot frisch	5458 g	909·5			
Trockensubstanz	3691 g	615·0	71·4	11·9	1·93
N	70·1 g	13·35	4·86	0·81	6·3
Ätherextrakt	44·2 g	7·4	13·6	2·25	30·7
Asche	161 g	27·0	25·5	4·3	15·8
Organische Substanz	3530 g	588·3	45·9	7·65	1·3
Kalorien	13743	2290	372·3	62·05	2·7

	Gesamt-N	Harnstoff N	Harnsäure N	NH_3—N
Harn N am 5. Tag	13·48	11·42 (84·7 %)	0·150 (1·12 %)	0·61 (4·5 %)
6. „	12·61	10·09 (80·1 %)	0·153 (1·21 %)	0·68 (5·4 %)
8. „	15·12	13·00 (86·0 %)		

Die organische Substanz zeigt in dem ersten Versuch, wie man sieht, nur einen Verlust von 1·3 Prozent. Versuchsfehler der Abgrenzung liegen natürlich nicht vor, weitere Abzüge für Zellmembran fallen auch weg und doch ist das Resultat nur die Hälfte etwa des sonstigen Verlustes bei bester Ausnützung. Ein ähnliches Ergebnis hatte ein zweiter Versuch von Thomas, der aber nur 3 Tage dauerte.

Einnahme für 3 Tage:

1057 g lufttrockenes Mehl	mit 916 g Trockensubstanz	und 19·20 g N	
326 g Rohrzucker	326 g	,,	
48 g Stärke	48 g	,,	
531 g Butter	?		

Kot 18·3 g mit 1·11 g N; N-Verlust = 6 Prozent, pro Tag 6·1 g Kot mit 0·37 g N.

Berechnet man den Versuch auf Stärke und Mehl = 964 g Trockensubstanz, so ist der Verlust nur 1·9 Prozent, auf Trockensubstanz gerechnet. Aschebestimmungen liegen nicht vor. Die Tagesration war hier nur 321 g (von Zucker und Butter abgesehen), die tägliche N-Menge im Kot 0·37 g. Das Resultat stimmt also mit dem vorigen Versuch ausreichend überein.

Was die beiden Versuche bemerkenswert macht, ist der geringe N-Verlust, in beiden Fällen 6·3—6·0 Prozent, derartiges ist bisher nie beobachtet worden, es kann sich also nur um ein Mehl gehandelt haben, das fast kein Kleieeiweiß enthielt und eben aus dem Mehlkern des Kornes bestand. Die gute Auflösung der Stärke ist für Weizenmehl öfter schon erwähnt worden.

Es ist bekannt, daß unter den verschiedenen Stärkesorten die Weizenstärke am leichtesten durch Fermente angegriffen wird. Eine interessante Bestätigung hierfür ist ein mikroskopischer Befund von J. Möller.[1] Er fand Cerealienstärke vollkommen aufgelöst, Kartoffel und Leguminosenstärke daneben aber frei im Kot.

Bei mehr kleiehaltigem Mehl wird man im Kot Reste von Stärke nie vermissen. Die Versuche lagen bei Thomas in einer längeren Reihe vegetabilischer Kost mit sehr geringer N-Zufuhr und abfallendem Körpergewicht bei sozusagen fettfreier Kost (7·4 g Fettzufuhr pro Tag). Der Eiweißumsatz war geringer und damit auch jene Menge von Stoffwechselprodukten, welche, von dem Umsatz herrührend, im Kote entleert werden, sehr klein. Zur Aufnahme leicht verdaulicher Stärke gehört also ein außerordentlich kleines Maß von Stoffwechselprodukten.

Der Unterschied in der Ausscheidung von Kotbestandteilen stimmt unter sich bei Kohlrausch und Thomas besser überein, wenn man die Kalorienwerte zugrunde legt, es wird dort der Verlust in dem

Versuch von Thomas	2·70	Prozent der Zufuhr
bei Kohlrausch	3·70	,, ,, ,,
während bei Fleisch als Stoffwechselprodukt beim Hund . .	2·5	,,
beim Menschen	4·7	,,

berechnet worden sind.

[1] *Zeitschr. f. Biol.* 1897. Bd. XXXV. S. 308.

Die Werte liegen alle, wenn sie auch prozentisch nicht unerheblich abweichen, doch so nahe, daß man sie bei den vielen Nebenumständen (Individualität, Bakteriengehalt des Kotes, Einfluß des Eiweißumsatzes usw.) vorläufig als genügende Annäherung für Stärke und Eiweißzufuhr wird betrachten können.

Jedenfalls ist bei dem feinsten Weizenmehl die Menge der Stoffwechselprodukte sehr gering.

Wie groß die Menge der als Stoffwechselprodukte vorhandenen Kalorien in dem vorliegenden Versuch von Kohlrausch war, ergibt sich wie folgt:

Im Tag ausgeschieden			82·4 Kal.
davon ab 3·05 g Zellmembran	à 4·2 Kal.	= 12·6	
0·56 Pentosan (frei)	à 3·9 ,,	= 2·2	14·8 ,,
11·4 g liefern			67·6 Kal. pro Tag

Demnach würden diese Stoffwechselgemische nahe an 6 Kal. pro 1 g liefern, was recht gut mit meinen anderweitigen Beobachtungen übereinstimmt.

Es ist von großem Interesse, die Resorption der Pentosen und der Zellmembranen und ihrer Bestandteile kennen zu lernen; es ergibt sich als Verlust für 100 Teile

für die Gesamtpentosen	6·60
,, ,, Zellmembran	24·6
,, ,, Zellulose	21·9
,, ,, Restsubstanz	24·5
,, ,, Pentosen der Zellmembran	43·2
,, ,, freien Pentosen	4·1

Von den Kalorien gingen im allgemeinen zu Verlust	4·51 Prozent
von der organischen Substanz	3·58 ,,
von N	12·3 ,,

Darin sind aber die Stoffwechselprodukte mit inbegriffen. Von der organischen Substanz kann man mit Bestimmtheit nur die Zellmembran als Verlust bezeichnen, der N geht über die Grenzen des sonstigen N-Verlustes an Stoffwechselprodukten (die allerdings für diese Versuchspersonen sonst nicht bekannt sind) kaum hinaus. Fällt also die Kleie bei der Vermahlung völlig weg, so haben wir bei dem Weizenmehl eine ebenso völlige Ausnützung der Nahrung wie bei den Animalien, nur etwa beim N-Verlust bleibt ein geringes Mehr in den Ausscheidungen nach Genuß feinsten Weizenbrotes.

Alle sonstigen außergewöhnlichen großen Verluste, wie wir sie bei anderen Broten sehen, sind die Wirkung der beigefügten Kleie.

Vollkornmehl aus Weizen.

Zum Vergleich mit dem feinsten Weizenmehl sollte ein Versuch mit Vollkornmehl dienen. Was man Vollkornmehl heißt, sind ganz verschiedene Produkte. Das wahre Vollkornmehl entsteht durch Vermahlung des ganzen Kornes, wie es ausgedroschen wird. Dann enthält es alle Teile, die ihm von Natur zugehören. So verfahren vielleicht viele Flachmühlen alten Systems in Norddeutschland zur Herstellung von Mehlen für den Lokalgebrauch, darüber hinaus und in den Handel kommt wohl wenig von dieser Art von Mehlen, auch wird es hauptsächlich Roggenmehl sein, das so verarbeitet wird.

Was sonst an Vollkornmehlen geliefert wird, hat jedenfalls mehr oder minder gar keinen Anspruch darauf, wirklich alle Teile des Kornes in sich zu vereinigen, kontrollierbar sind diese Mahlverfahren nach der Richtung überhaupt nicht, ob sie mehr oder weniger Kleie bei der Dekortizierung abscheiden. Die einzigen brauchbaren Versuche dieser Art rühren von Plagge und Lebbin her, da sie auf die Mehlzubereitung die nötige Aufsicht haben üben können. Der Angabe der Fabrikanten braucht man kein zu weitgehendes Vertrauen entgegenzubringen, da sie meist selbst ihr Verfahren nicht so genau kennen, als daß sie für wissenschaftliche Erwägungen eine sichere Unterlage geben können.

Zumeist sind aber die jetzt im Handel vorkommenden Vollkornmehle Mehle aus dekortiziertem Korn. Während noch in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts die Technik der Dekortikation noch recht mangelhaft war, sind die Methoden jetzt gut durchgebildet. Die Dekortikation, welche die Fruchtschale und die Bärtchen usw. wegnimmt, macht eine gewaltige Veränderung des Mehles, das dadurch nur rund die Hälfte an Schalenteilen enthält, als solches aus ungeschältem Korn. Vollmehl aus dekortiziertem Getreide wäre der richtige Ausdruck für die meisten derartigen Mehlarten. Dieser Unterschied wird leider bei Benennung der zu Versuchen dienenden Brotsorten nicht immer gemacht, wodurch viel Unklarheiten in den Resultaten hervorgerufen worden sind. Zu den nachstehenden Versuchen konnte ich nicht mehr frei bezogenes Mehl verwenden. Es wurde ein mir bis dahin unbekanntes Präparat Karamehl[1] durch die Z.E.G. vermittelt, ein schönes weißes Mehl, das ersichtlich Kleiebestandteile enthielt, wenn schon diese recht gut vermahlen waren. Obwohl mir nicht bekannt ist, aus welchen Sorten Weizen es hergestellt wurde, läßt sich wohl nicht bestreiten, daß es ein Vollkornmehl aus dekortiziertem Weizen war. Es war viel pentosereicher als das erste Mehl und, wie man später aus den Zahlen ersieht, relativ arm an Zellulose und mäßig reich an Zellmembran.

---

[1] Ich erfahre nachträglich, daß es sich um ein Mehl der Firma Klopfer handelt.

Vollkornmehl lufttrocken.

	In 100 g		in 478 g Mehl p. Tag
Asche	1·40		6·69
Trockensubstanz	89·80		429·20
Organisches	88·40		422·5
Pentosen	7·03	= 6·20 Pentosan	29·63 Pentosan
Zellmembran	5·09	mit 2·41 g ,,	24·31 mit 11·51 P.
Zellulose	1·47		7·03
Restsubstanz	0·78		4·30
N	2·02	= 12·62 Rohprot.	9·65 = 60·2 Rohprot.
Fett	2·20		10·51
Kalorien	384·9		1830·0

Ausscheidung im Kot:

	in 100 Teilen trocken		in 44·1 g Kot trocken
Asche	16·00		7·06
Organisches	83·99		36·50
Pentosan	11·44	= 10·1 Pentosan	4·45 Pentosan
Zellmembran	29·29	= 10·01 Pentosan	12·90 mit 4·45 P.
Zellulose	15·57		6·86
Restsubstanz	3·71		1·63
Stärke	5·70		2·51
N	4·67		2·04
Fett	5·37		2·36
Kalorien	461·7		203·6

In 100 Teilen Zellmembran

	der Zufuhr	der Ausfuhr
Zellulose	29·47	53·16
Pentosan	47·33	34·18
Rest	23·20	12·66

Aus 1500 g Mehl mit 75 g Hefe und 35 g Salz wurden 4 Brote zu 500 g gebacken. 100 g Brot = 75 g Mehl. Verzehrt wurden 1912 g Brot in 3 Tagen = 1434 g Mehl = 478 g Mehl pro Tag. Das Brot hatte 61·75 Prozent Trockensubstanz und in 100 Teilen Trockensubstanz:

2·40 Asche
97·60 Organisch
2·36 N = 14·72 Protein
1·30 Fett
437·2 kg-cal.

Aus der Analyse geht klar hervor, daß die Kleie mit all ihren bekannten Eigenschaften die Zellmembran darstellt, es ist also hier ein ganz ausgeprägter Unterschied gegenüber dem feinen Weizenmehl vorhanden, wenig Zellulose, aber viel Pentosan. Die Ausnützungsverhältnisse ergeben sich in Einnahme und Ausgabe unmittelbar verglichen wie folgt:

Verlust an Trockensubstanz	10·27
„ „ organ. Substanz	8·64
„ „ Kalorien	11·12
„ „ N	21·14

Das früher von mir untersuchte Vollkornbrot hatte ergeben:

Verlust an Trockensubstanz	12·2 Prozent
„ „ N	30·5 „

Vergleiche dieser Art sind aber ziemlich gewagt, da mir für das Karamehl die Art der Ausmahlung nicht bekannt war, dieser Punkt entscheidet aber in erster Linie; meiner Erinnerung nach enthielt das frühere Vollkornpräparat etwas gröbere Kleie.

Die Steigerung der Kotmenge gegenüber dem Brot aus feinstem Weizenmehl war hier bei dem Vollkornmehl sehr erheblich, dort 15·0 g organisch = 11·4 g zellmembran- und pentosanfreie Masse. Im vorliegenden Falle 36·6 g organischer Kot, wovon abgehen 12·90 g Zellmembran und 2·51 g Stärke, so daß 21·2 g hinterblieben, die im ganzen aus Stoffwechselprodukten (+ Bakterien) bestanden haben müssen = 5·01 Prozent Verlust auf die organische Substanz berechnet, gegenüber 2·46 Prozent bei dem Versuch mit feinem Weizenmehl. Besser vergleicht man die Kalorien der Zufuhr und Ausfuhr.

Im Kot wurden pro Tag ausgeschieden		203·6 Kal.
auf 12·9 Zellmembran treffen 12·9×4·624 = .	59·6 Kal.	
auf 2·51 g Stärke 2·51 × 4·1	10·3 „	69·9 „
bleibt für Stoffwechselprodukte		133·7 Kal.

gegenüber 1830 Kal. der Zufuhr ist der Verlust aber = 7·30 Prozent. 1 g dieser „Stoffwechselprodukte“ hatte 6·13 Kal. an Brennwert, was ausgezeichnet mit den sonstigen Ergebnissen meiner früheren Untersuchungen über den Energiewert des Kotes übereinstimmt.

Im Versuch mit feinstem Weizenmehl waren nur 67·6 Kal. solchen Kotes erschienen. Von dem Gesamtverluste an Energie mit dem Kote sind hier 65·6 Prozent Stoffwechselprodukte (+ Bakterien) rund $^2/_3$ und $^1/_3$ also unresorbierte Bestandteile.

Die unverdaut ausgeschiedenen Teile erklären also hier nicht die Veränderung der Ausnützung, sondern es handelt sich ganz zweiffellos um eine stärkere Anregung des Darmes und um die Bildung reichlicher Verdauungssäfte und ihres Rückstandes; diese Mischungen scheinen auch nach den bisher gemachten Erfahrungen nicht wesentlich verschieden zu sein, wenn es sich um die Resorption animaler oder vegetabilischer Produkte handelt. Die Art der Nahrung zeigt sich also von sehr erheblichem Einfluß. Man begreift, daß, wenn zur Resorption einer Substanz mehr Verdauungsvorgänge gehören, wie zu einer anderen, die Nahrung selbst nicht nur zur Quelle der Aschezufuhr wird, sondern zugleich zur Quelle des Ascheverlustes, denn alle diese Kotreste enthalten eine erhebliche Menge von Salzen. Was aber unter Umständen in der einen Richtung an Salzzufuhr vermehrend wirkt, vermehrt in anderer Richtung die Verluste, wahrscheinlich beruht auch hierauf die leicht zu belegende Tatsache, daß trotz der reichlichen Zufuhr von Kleie und der in ihr enthaltenen reichlichen Asche, die Verluste an Asche mit dem Kote gerade die Zufuhr decken oder diese überschreiten.

Die N-Ausscheidung im Kot betrug rund 2·04 g N pro Tag, sie bestand aus dem in Kleberzellen noch enthaltenen N und dem N der Verdauungsprodukte. In den Zellmembranen, d. h. ihren Kleberzellen, war pro Tag 1·15 g N enthalten. Es treffen also 0·89 g N auf Nicht-Kleberzellen-N. Es ist also der größte Teil des Kot-N auf unverdautes Kleberzelleneiweiß zurückzuführen.

Was die Verdaulichkeit der Pentosane und der Zellmembran anlangt, so ergibt sich als

	Verlust bei Karamehl		bei feinstem Mehl	
an Gesamtpentosen	15·01	Prozent	6·6	Prozent
„ Zellmembran	53·04	„	24·6	„
„ Zellulose	97·58	„	21·9	„
„ Restsubstanzen, Lignine	44·18	„	24·5	„
„ Pentosan aus Zellmembran	38·73	„	43·2	„
„ freies Pentosan	0	„	4·1	„

Die Pentosen, die nicht in der Zellmembran enthalten sind, werden vollkommen resorbiert, die Pentosen der Zellmembran mäßig gut, etwa wie in dem ersten Versuch mit feinem Mehl, die Zellmembran schwerer als im ersten Versuch, besonders schlecht wird die Zellulose angegriffen. Die Unterschiede sind so deutlich, daß auch hieraus sich ergibt, die Zellmembran des feinen Mehles ist bei gleichem Zellulosegehalt der Mehle verschieden von dem Vollkornbrot. Ich möchte aber noch betonen, daß zweifellos der Kleiezellmembran auch Membranen des Mehlkernes beigemengt gewesen sein

müssen, und da diese letzteren so sehr viel besser ausgenutzt werden, so ist ein Teil der zur Lösung gelangten Zellmembransubstanzen nicht der Kleie, sondern eben diesen anderen Membranen zuzuschreiben. Die Resorption der Kleie muß in Wirklichkeit, obschon sie von dekortiziertem Weizen stammte, noch geringer sein, als es hier den Anschein hat. Dann versteht man auch die mit weiterer Mehrung von Zellmembran der Außenschichten des Kornes zunehmende Verschlechterung der Ausnützung, die schon bisher in den Versuchen über dekortiziertes und nicht dekortiziertes Material angedeutet ist.

Eine weitgehende Verschiedenheit in der Verdaulichkeit der Kleiezellmembran zwischen Hund und Mensch besteht zwar nicht; doch erwies sich in diesem Falle die Auflösung der Zellmembran beim Menschen etwas ungünstiger als beim Hund. Es wurde gefunden:

	beim Menschen	beim Hund
an Zellmembran	53·04 Prozent	44·72 Prozent
,, Zellulose	97·58 ,,	70·04 ,,
,, Pentosan der Zellmembran . .	38·73 ,,	38·73 ,,

Bei sonst guter Resorption einer Brotsorte hängt der Nutzeffekt also wesentlich nur von der Art der Verdaulichkeit der Zellmembran ab.

Die Ausscheidung der Pentosane ist nur eine Funktion der unverdaulich bleibenden Reste der Zellmembran, besonders der kleiehaltigen Brotsorten, ich habe schon früher auf die Notwendigkeit der Unterscheidung in leicht und schwer resorbierbaren Pentosanen hingewiesen. Obige Versuche bestätigen eindeutig diese Anschauung.

Man hat zur Beurteilung, ob eine Brotsorte besser sei als die andere, auch die Vitaminlehre mit herangezogen, der bekannteste Versuch dieser Art ist die Fütterung von Tauben mit poliertem Reis, worauf nach einer Anzahl von Tagen eine Polyneuritis unter Zittern und Kraftlosigkeit auftritt und im weiteren Verlauf zum Tode führt, ein Analogon zur Beriberikrankheit. Die Erscheinungen gehen zurück, wenn man Reiskleie füttert, auch Weizenkleie, Erbsen, Bohnen, selbst Preßhefe verhüten die Erscheinungen oder machen krankhafte Symptome rückgängig. Der Versuch verläuft so gleichartig, daß man an dem Resultat nicht zweifeln kann.

Die Lehre von den Vitaminen ist, wie man wohl jetzt sagen kann, allmählich auf eine Basis gestellt worden, die sie in Einklang mit unseren sonstigen Vorstellungen vom Wesen der Ernährung bringt. Röhmann hat in seiner kritischen Studie und eigenen Experimenten gezeigt, daß wir die Vitamine besser Ergänzungsstoffe nennen.[1] In manchen einseitigen

[1] *Über die künstliche Ernährung und Vitamine.* Berlin 1916.

Ernährungsformen fehlen bestimmte Teilstücke in den Eiweißkörpern, die für den Gesamtorganismus unentbehrlich sind. Der nötige Ergänzungsstoff läßt sich unter Umständen aus ganz verschiedenen anderen Nahrungsquellen beschaffen. So ist man der Meinung, daß den feinen Mehlen zur vollen Ernährungsfähigkeit etwas zugefügt werden muß, was in der Kleie sich findet. Störungen durch solches Brot könnten aber nur bei einseitiger ausschließlicher Ernährung zutage treten. Eine solche wird praktisch kaum je vorkommen, darin liegt eben der Wert der gemischten Kost, daß sie Eiweißstoffe aus den verschiedensten Quellen einzuführen erlaubt. Wenn man diese Frage auch für völlig spruchreif hält, so würde es sich darum handeln, welches Verhältnis zwischen Mehl und Kleie vorhanden sein müßte, um auch bei der einseitigen Broternährung auszureichen. Meine Untersuchungen haben gezeigt, daß wirklich solche Mehle vorkommen, welche so gut wie keine „Kleie“ enthalten, dafür die Zellmembranen des Mehlkernes. Aber die durchschnittlich gebrauchten Mehle enthalten reichlich an Kleie. Ob es daher notwendig ist, die ganze Menge ins Mehl einzuführen, erscheint fraglich, weil ja tatsächlich von den Kleberzellen so außerordentlich wenig resorbiert wird und jedenfalls bei mittlerem Zellmembrangehalt mehr als bei großen; die Erfahrungen auch der letzten Monate haben gezeigt, daß gerade bei den Vollkornbroten die N-Verluste sich besonders hoch steigern und diese N-Verluste sind günstigenfalls nur gerade durch unresorbierte Membranen bedingt. 30—50 Prozent N-Verlust bei Vollkornbroten sind nur möglich bei ausgedehnter unverdauter Zellmembran und weiteren Nahrungsstoffresten. In dieser Hinsicht bieten dann die mittleren Gehalte an Zellmembranen günstigere Bedingungen der Auflösung.

Die vorliegenden Versuche zeigen die Möglichkeit, zwischen Unverdautem und Stoffwechselprodukten quantitativ zu trennen, sie lassen in der Kleiezellmembran ein Objekt erkennen, das einen wesentlichen Einfluß auf die Mehrung von Stoffwechselprodukten hat. Ich werde Gelegenheit haben, bei den zahlreichen weiteren Veröffentlichungen auf diese Fragen zurückzukommen.

Die Verdaulichkeit von Spelzmehl beim Hunde.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Statt des Holz- und Strohmehls, die an sich außer der Zellmembran so gut wie keine Nährstoffe enthalten, ist man dazu übergegangen, anderweitiges Material zur Vermahlung zu suchen, das noch etwas besser verdauliche Bestandteile (freilich wohl mehr durch Zufall) einschließt und war so auf die Vermahlung der Spelzen gekommen. Es ist wohl anzunehmen, daß die Spelzen des Getreides an sich aus einer Zellmasse bestehen, welche eine große Ähnlichkeit mit der Zusammensetzung des Strohes haben werden. Die Spelzen, d. h. der Schälabfall des Spelzweizens, enthalten aber auch noch immer Reste des Getreides, einzelne Körner also beigemengt. Zwei Proben, die mir zur Verfügung standen, gaben beide sofort mit Jod eine ausgesprochene Stärkereaktion. Es wird sich aber nur fragen, ob diese Beimengungen quantitativ so beträchtlich sind, daß man sie vom Standpunkt der Nahrungsversorgung überhaupt in Betracht ziehen kann, oder ob das Spelzmehl im wesentlichen als eine Abart des Strohmehles zu betrachten ist. Nach der äußeren Beschaffenheit ist das Spelzmehl ein gelblich-weißes Pulver, das bei der einen Sorte die kleinen Teilchen mit bloßem Auge schwer unterscheiden ließ. Durch Absieben wird in der Technik auch noch ein etwas gröberes Material hergestellt, das etwa wie feinst zermahlene Kleie aussieht. Die Spelzmehle haben einen bitteren Geschmack und legen sich in unbequemer Weise beim Kauen zwischen die Zähne, sie werden durch die Einspeichelung nicht weicher.

Außer zu dem üblichen Streumehl, von dem schon oben beim Holzmehl die Rede war, soll es auch direkt als Zusatz zu Brot Verwendung finden.

a) Feines Spelzmehl.

Zum Versuch diente derselbe Hund wie in den früheren Versuchen, zu 1000 g Pferdefleisch pro Tag erhielt er 70 g lufttrockene Substanz. Der bittere Geschmack wird durch das Fleisch verdeckt.

Feines Spelzmehl.

	100 Teile enthalten		65·2 g pro Tag enthalten	
Asche	9·23		6·02	
Organisches	90·77		59·18	
Pentosan	31·74		20·68	= 18·26 g Pentosan
N	0·72	= 4·39 Rohprot.	0·47	
Zellulose	31·76		20·71	
Zellmembran	65·64	mit 24·09 g Pentosan	42·79	mit 15·71 g Pentosan
Rest	9·79		6·39	
Fett	1·66		1·08	
Verbrennungswärme	378·1		246·5	

pro 1 g Organisches 4·165 kg-cal.

Die Zusammensetzung läßt erkennen, daß das Präparat ziemlich aschereich ist, außerordentlich groß ist der Pentosangehalt, etwa $^2/_3$ machen die Zellmembranen aus, in dem die Hauptmasse des Pentosans enthalten ist.

Ein pflanzliches Produkt mit $^2/_3$ Zellmembrangehalt ist von vornherein als eine wenig aussichtsreiche Beilage zur Kost zu betrachten, da man in den üblichen Nahrungsmitteln über einen Gehalt von $^1/_4$ Zellmembranen selten hinausgeht, was als eine empirische Feststellung der Bekömmlichkeitsgrenze angesehen werden mag.

Das Mehl enthält Stärke. Zieht man von den organischen Bestandteilen Protein, Zellmembran und Fett ab 90·77
— 71·69

so bleiben höchstens 19·08 g

die fast ganz aus Stärke bestehen.[1]

Es wird auf die besonderen Bedingungen ankommen, ob die Stärkeanteile voll resorbierbar sind, zumal die große Menge von Zellmembran hier hinderlich sein könnte.

Auffallend gering ist der N-Gehalt der Spelzen, offenbar hängt er noch zum wesentlichen Teil mit der Kleberzellenschicht der beigemischten Spelzkörner zusammen.

Die Zellmembran enthält in 100 Teilen:

Zellulose	48·39
Pentosan	36·70
Rest	15·00

[1] Direkt wurden 18·1 Prozent Stärke gefunden.

Sie ist weit zellulosereicher als die Zellhüllen des Getreides, Zellulose und Pentosan überwiegen, so daß nur 15 Prozent für Lignine usw. übrig bleiben.

Ich wiederhole zum Vergleich die Analyse der Kleiezellmembran; in 100 Teilen sind:

Zellulose	29·47
Pentosane	40·48
Restsubstanz	30·05

An Kot werden in drei Tagen 447 g frisch = 192·2 g trocken entleert = 43·6 g Trockensubstanz. Letztere ist also sehr bedeutend und erklärt sich, wie in den bisher schon erwähnten Fällen ähnlicher Art durch die Beimengung der Reste der Zellmembran, welche kein oder wenig Wasser binden. Im Tag wurden 63·1g bei 100° trocknen Kotes entleert. Die Zusammensetzung der Ausscheidung ergibt sich aus folgender Tabelle:

Kot nach Fütterung mit feinem Spelzmehl.

	In 100 Teilen trocken	in 63·1 g Kot pro Tag
Asche	14·25	8·99
Organisches	85·75	54·01
Pentosen	18·72 mit 16·53 g Pentosan	11·81 mit 10·43 g Pentosan
N	2·56	1·61
Zellulose	24·14	15·23
Zellmembran	41·96 mit 15·82 g Pent.	26·48 mit 9·95 g ,,
Rest.	2·00	1·34
Verbrennungswärme .	411·2	259·4

Der Kot ist reich an Pentose, Zellulose, Zellmembran.

In 100 Teilen der letzteren sind:

Zellulose	57·52
Pentosan	37·70
Rest	4·77

Die Zellulose überwiegt also nach der Verdauung wie in allen untersuchten Fällen, angegriffen wurden namentlich die „Restsubstanzen". Die Verluste derPentosen- und Zellmembranbestandteile ergeben sich wie folgt.

Von 100 Teilen sind durch den Kot verloren:

Gesamtpentosen	57·11
Zellulose	73·54
Zellmembran	61·88
Rest	21·03
Pentosen in der Zellmembran	63·52

Die Zellmembran steht ungefähr auf dem Verdaulichkeitsgrad von Holzmasse, jedenfalls aber ungünstiger als jene der Kleiemembran.

Ich füge hier die früher erhaltenen Werte für Kleieverdaulichkeit an.[1]

Prozentverlust.	
an Pentosen	69·46
Zellmembran	44·72
Pentosen in der Zellmembran	38·73
an Zellulose	75·04

Die Zellulose stimmt im Verlust in Kleie und Spelzen überein. Die Zellmembran ist aber bei Kleie leichter auflöslich, was sich auch in der Lösung der Pentosane der Kleie ausdrückt. Doch besteht der Unterschied, daß die Pentosane der Kleie im ganzen in etwas höherem Maße unresorbiert im Darm bleiben, wie bei den Spelzen.

Die N-Ausscheidung im Kot ist nicht sehr beträchtlich; wenn man den N feststellt, der in der Zellmembran des Kotes gebunden war, so entfallen auf den Tag 0·83 g N, so daß 1·61 — 0·83 = 0·78 g N von Fleisch herrühren, während im Mittel annähernd 1 g N bei reiner Fleischkost an Kot-N gebildet wird. Im Spelzmehl war aber überhaupt nur 0·47 g N pro Tag zugeführt worden. Jedenfalls geht aller in der Zellmembran eingeführte N wieder verloren. Da dieser nur 0·47 g pro Tag ausmacht, sogar noch etwas mehr als dieser N. Man darf annehmen, daß dieses Mehr möglicherweise zum Teil auf Haare entfällt, da der Hund während des Versuches seinen Winterpelz verlor.

Über die Resorption der Gesamtmasse des Spelzmehles, also inkl. des Stärkegehaltes läßt sich auf Grund der Verbrennungswärme des Kotes folgendes sagen, wenn man zunächst annimmt, daß die Ausnützung des Fleisches unverändert blieb:

Die Einfuhr an Spelzmehl entsprach 246·4 kg-cal.
im Kot sind 259·4
ab für Fleischkost 67·7, als Verlust bleibt sonach 191·7 ,,

Im ganzen sind von der Zufuhr zu Verlust gegangen 77·77 Prozent und nur 24·83 Prozent resorbiert worden, d. h. vom Standpunkt als Nahrungsmittel betrachtet, sehr ungünstige Verhältnisse. Nach der Gesamtmenge der zu Verlust gehenden Kalorien beurteilt, wird bei der Kleie nur 60·44 Prozent der Zellmembran verloren, die Kleie bringt keine Steigerung der Verluste durch Mehrung von Stoffwechselprodukten, verhält sich also in dieser Hinsicht indifferent.

[1] A. a. O. S. 147.

Diese Frage läßt sich für das Spelzmehl leicht nachprüfen. Wir haben als Verlust mit dem Kot täglich 259·4 kg-cal.
im Kote war 26·48 g Membran × 4·2[1] = 111·2 kg-cal.
dazu gelöstes Pentosan 0·45 × 3·9 1·7 112·9 „
Es bleibt für Stoffwechselprodukte: 146·5 „

Da im Fleischkot sonst nur 67·7 kg-cal. zu Verlust gehen, ist eine Vermehrung der Stoffwechselprodukte eingetreten, vielleicht gemengt mit Resten unverdauter Stärke.

b) Versuch mit gröberem Spelzmehl.

Die Zusammensetzung des gefütterten Spelzmehles ergibt sich aus folgender Tabelle:

Zusammensetzung des gröberen Spelzmehles.

	In 100 Teilen trocken	In 63·6 g trocken pro Tag
Asche	8·08	5·14
Organisches	91·92	58·42
Pentosen	33·13 = 29·25 Pentosan	21·06 mit 18·59 Pentosan
N	0·41 = 2·56 Protein	0·25
Zellulose	34·73	22·09
Zellmembran	74·36 mit 27·05 Pentosan	47·28 mit 17·2 Pentosan
Rest	13·48	8·57
Fett	1·23	0·66
Verbrennungswärme	367·1[2]	233·4

Das Präparat war demnach wesentlich verschieden von dem feinen Mehl; wie man aus dem viel größeren Zellulosegehalt und Zellmembrangehalt ersieht, war es minderwertiger. Zieht man von der organischen Substanz der Zellmembran das Protein, Fett und die nicht in Zellhüllen befindlichen Pentosen ab (2·56+74·36+2·20+1·2=80·35), also 91·92—80·35, so bleiben noch 11·57 Prozent an Substanz übrig, die Stärkemehl gewesen sein können.[3]

Die Zusammensetzung der Zellmembran war für 100 Teile:

	Präparat I	Präparat II
Zellulose	48·39	46·70
Pentosan	36·70	36·38
Rest	15·00	16·92

[1] Es wird hier die Verbrennungswärme der organischen Substanz des Spelzmehles verwendet, da die Zellmembran jedenfalls nur wenig von dem Mittel der Verbrennungswärme für die gesamte organische Substanz abweicht.

[2] 1 g Organisch = 3·993 kg-cal.

[3] Direkt wurden 14·00 Prozent bestimmt.

Die Zellmembran selbst unterscheidet sich bei beiden Präparaten kaum, somit wird der Unterschied durch das ungleiche Absieben der kleinen Stärkekörner bedingt.

Täglich wurden 70 g lufttrocken = 63·6 g trocken mit dem Fleisch verfüttert. Die Kotbildung war eine sehr reichliche = 205·44 g Trockensubstanz = 68·48 g pro Tag gegenüber 63·1 g im vorhergehenden Versuch. Die etwas weniger feine Beschaffenheit der Vermahlung läßt sich auch beim Befühlen des Kotes wohl wahrnehmen — im übrigen ergaben sich in der Beschaffenheit der Ausscheidungen keine Unterschiede von Belang.

Die Zusammensetzung des Kotes nach Prozenten und pro Tag berechnet, ergibt die folgende Tabelle:

Kot nach Fütterung mit grobem Spelzmehl.

	In 100 Teilen trocken	In 68·5 g pro Tag
Asche	13·66	9·36
Organisches	86·33	58·14
Pentosen	29·82 = 26·33 Pentosan	20·42 = 18·02 Pentosan
N	2·00	1·37
Zellulose	26·94	18·45
Zellmembran	59·61	40·25 mit 14·17 Pentosan
Rest	11·31	7·74
Fett	1·16	0·79
Verbrennungswärme	392·1 kg-cal.	268·5 kg-cal.

Der Kot ist reicher an Pentosen, an Zellulose und Zellmembran wie sich das nach der Zusammensetzung des gröberen Spelzmehles erwarten ließ.

Die Verluste stellen sich in Prozenten wie folgt:

	Für feines Spelzmehl	Für gröberes
an Pentosen	57·11	96·96
Zellmembran	61·88	85·53
Pentosen in der Zellmembran	63·53	85·46
Zellulose	73·54	83·53
Restsubstanz	21·03	90·23

Es ist aber ganz unverkennbar, daß für das Angreifen dieser Art von Zellmembran, wie sie in den Spelzen vorkommt, der Vermahlungsgrad einen Einfluß besaß. Diese gröbere Masse, könnte man sagen, ist ziemlich unverändert durch den Darmkanal hindurch gegangen, die spezifischen Unterschiede eines stärkeren Angriffs auf die Lignine fehlen bei den weniger zerkleinerten Massen. Die Angriffsflächen für die Verdauung sind für dieses

Material zu gering, es bedarf unbedingt einer besseren Zerkleinerung, um im Darm des Hundes nennenswert gelöst zu werden.

Was den Verlust an Kalorien anlangt, so war dieser	268·5
davon treffen auf Fleischkot	67·7
somit auf das Spelzmehl	200·8

Die Zufuhr war 233·4 Kal., der Verlust im ganzen 86·03 Prozent, also ein ungünstiges Verhältnis und der Verlust größer als bei feinerem Spelzmehl (77·77 Prozent).

Ob es sich dabei wieder wie im vorigen Versuch auch um eine Mehrbildung von Stoffwechselprodukten handelt, kann man mit genügender Annäherung leicht berechnen.

Der Kotverlust im ganzen war	268·5 Kal.
davon treffen auf Zellmembran $40 \cdot 25 \times 3 \cdot 99 = 160 \cdot 5$	
dazu gelöste Pentosane $4 \cdot 3 \times 3 \cdot 9 = 16 \cdot 7 =$	177·2 „
also Verlust durch Stoffwechselprodukte	91·3 kg-cal.

während bei Fleischkot 67·7 gebildet werden.

Die Steigerung der Stoffwechselprodukte ist hier erheblich geringer wie im vorhergehenden Versuch. Es ist sehr bemerkenswert, daß solche Verhältnisse bei den Spelzen auftreten, obwohl z. B. Kleie, Birkenholz, gepulverte Haselnüsse sich relativ indifferent für den Darm erweisen. Eine Erklärung liegt wohl darin, daß das den Darm Reizende wahrscheinlich die spitzen, stechenden Reste der Ähren sind, welche in das feine Mehl jedenfalls in größerer Menge übergehen und das gröbere Spelzmehl daran verarmen lassen.

Die Ergebnisse bereichern unsere Erfahrung über die Einflüsse der Zellmembran auf die Ausnützung dahin gehend, daß nebeneinander bessere Resorption und Reizung des Darmes (erster Versuch) und schlechtere Resorption und geringere Störung des Darmes (zweiter Versuch) einhergehen können. Für den Hund bringt der Genuß von Spelzmehl einen minimalen Nahrungsgewinn, der Mehrverlust durch Steigerung der Stoffwechselprodukte des Darmes (gemengt mit etwas unverdauter Stärke) ist so groß, daß der Nährwert des beigemengten Stärkemehls überhaupt wieder illusorisch gemacht wird.

Die Versuche mit Holz- und Spelzmehlen geben noch zu folgender Erwägung Anlaß.

Auf ein Moment, das bisher übersehen war, weil es unter normalen Verhältnissen gar keine Rolle spielt, bin ich bei den Versuchen mit Birkenholzmehl und dann bei anderen Materialien ähnlicher Natur erst näher aufmerksam geworden. Das ist die Trockenheit des Kotes. Durch die Bei-

mengung nicht wasserbindender organischer Substanzen wird, soweit ich sehe, ohne Ausnahme ein sehr trockner Kot entleert, der bis zu 46 Prozent und mehr an Trockensubstanz enthalten kann. Das ist der Fall, obschon bei meinen Versuchen die Zusätze zu einer völlig verdaulichen Kost nur 7 Prozent Birkenholzmehl, Spelzmehl und Holzmehl usw. betragen haben, während bei vegetabilischer Kost und nach Zusatz von Holzmassen usw. meist auf eine höhere Beimengung gerechnet werden kann.

Diese Trockenheit des Kotes bedingt eine erschwerte Entleerung, der Kot verliert seine plastische Eigenschaft und kann durch die Bauchpresse nur schwierig entleert werden, was namentlich mit Rücksicht auf die bei Erwachsenen überhaupt und namentlich bei älteren Personen häufigen Hämorrhoidalknoten sehr störend und nachteilig sein kann.

Nicht alle Arten des Holzmehles, Strohmehles usw. verhalten sich gleich, bei manchen steigert sich vielmehr der erwähnte Übelstand zu einer fast unmöglichen Kotentleerung. Dies ist dann der Fall, wenn das Material, wie z. B. bei Holzmehl aus Birke, zu derben Knollen und Massen, wie sie Pappe darstellt, verklebt. Die gleiche Beobachtung hat später R. O. Neumann bei Genuß von Brot, das mit Friedenthalschem Holzmehl versetzt war, gemacht, und auf die bedenklichen Zustände hingewiesen.

Ob diese verbackenden und vielfach verfilzenden Holzzellenmassen nicht durch Einlagerung im Blinddarm oder Wurmfortsatz auch nachteilige Folgen haben können, läßt sich nur durch etwaige Erfahrungen über das Auftreten von Blinddarmerkrankungen beweisen.

Aus den zahlreichen Fällen von Brotfälschung durch mehlartige Zusätze, die zu einem Betruge der Bevölkerung und auch zu Gesundheitsbenachteiligungen und Schädigungen führen, kann man die Notwendigkeit ableiten, die Herstellung solcher Produkte zu untersagen oder sie auf diejenigen Mengen zu beschränken, die etwa als Streumehl in Kriegszeiten zu verwenden sind. Den Bäckern darf neben den ihnen zustehenden Mengen Backmehls nur so viel Streumehl von der Reichsgetreidestelle überlassen werden, als zu dem Zweck des Streuens notwendig ist. Ein Überstäuben des Brotes mit Streumehlen ist zu unterlassen.

Die Verdaulichkeit des Spelzmehles beim Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner** und Dr. **Arnt Kohlrausch.**

I.

Es ist auffallend, daß man nach Ersatzmitteln für das Brotgetreide sucht, während erhebliche Mengen von Brotgetreide verfüttert werden. Eine Fürsorge für die menschliche Ernährung, welche Ersatzstoffe entbehrlich macht, wäre leicht zu treffen, wenn eine wirksame Einschränkung der Verfütterung von Brotgetreide in die Wege geleitet würde. In den beiden verflossenen Kriegsjahren ist nach der Richtung, alles Brotgetreide für den Menschen voll zu sichern, nichts Entscheidendes geschehen.

Unter den „Erfindungen" wollen Versuche, sogenannte Streckungsmittel herzustellen, nicht zur Ruhe kommen. Unter letzteren sind oft die untauglichsten herausgesucht und zum Vertrieb gebracht worden. Der Eine von uns (R.) hat schon vor längerer Zeit auf den unerhörten Mißbrauch hingewiesen, der mit dem Beibacken von Mehl aus Hinterkorn, mit Unkrautsamen getrieben wurde, auch haben die gerichtlichen Verhandlungen dargetan, daß man Strohmehl in Massen beigebacken hat und auch vor anorganischen Beimengungen nicht zurückgeschreckt ist. Für Strohmehl liegen bereits Versuche von R. O. Neumann am Menschen vor, aus denen die Schädlichkeit solcher Beimengungen dargetan ist. Es wäre an der Zeit gewesen, ein allgemeines Verbot solcher Produkte zu erlassen. Selbst als Streumehl, dafür sind sie amtlich vorgeschrieben, haben diese Materialien mehr Schaden als man denkt, insofern sie den Boden der Brote minderwertig machen, weshalb vielfach diese Teile nicht gegessen, sondern weggeworfen werden.

Die bisherigen Zusätze zu Brot sind von Haus aus ganz wertlos, weil sie nährende Bestandteile überhaupt nicht enthalten. Auch das Spelzmehl gehört an sich zu diesem nährstoffärmsten Material, kaum wertvoller als Strohmehl, wenn nicht der Zufall es fügt, daß noch einige Körner vom Getreide zurückgeblieben sind. Die Menge dieses Kornanteils mag bald größer, bald kleiner sein. Die Körner in Spelzen sind vielfach nicht gesund, sie

sehen verkümmert aus, doch sind uns keine Erfahrungen bekannt, daß etwa pathologisch veränderte Körner reichlicher in den Spelzen vorkommen. Versuche am Menschen sind nicht zu entbehren, damit eine restlose Aufklärung über die Verdauung aller wesentlichen Bestandteile des Brotgetreides erreicht wird.

Über die Wirkung der Verfütterung von Spelzmehl am Hunde ist in dieser Zeitschrift S. 96 das Ergebnis mitgeteilt worden. Es war nachzuweisen, daß auch von den Spelzen im Darm des Hundes etwas aufgelöst wird, was nicht wundernehmen kann, nachdem auch selbst bei Verfütterung der zerkleinerten Haselnußschalen eine Auflösung in beschränktem Maße eintritt und auch Papier sich nicht als unangreifbar erwiesen hat. Doch sind die Spelzen weniger verdaulich als etwa die Hüllen des Getreidekornes. Von einem Nährgewinn konnte auch bei den Spelzen nicht wohl die Rede sein, zumal dem Resorbierten eine Mehrung von Stoffwechselprodukten im Kot gegenüberstand, ein Beweis, daß es sich um Reizung des Darmes handelte.

Auch das Spelzmehl hat bereits eine sehr weitgehende erlaubte und unerlaubte Verwendung für die menschliche Ernährung gefunden.

Es wurde zuerst als Streumehl empfohlen. Die Anwendung des Spelzmehles ging aber sehr bald über die Grenze hinaus, die Brotfälscher setzten in mehr oder minder großen Mengen Spelzmehl dem Teige zu.

Man muß bei den umfangreichen Betrügereien aller Art auch damit rechnen, daß das Spelzmehl, das aus den leeren Ähren und allenfalls Resten verkümmerter Samen besteht, nachträglich selbst wieder durch andere Beimengungen gefälscht ist und vielleicht geradezu schädliche Dinge von Haus aus oder beliebige fremdartige Zusätze, auch wohl Unkrautsamen oder ähnliches enthält.

Untersuchungen am Menschen vorzunehmen, schien mit dem uns zugegangenen Material erlaubt, da uns dieses in Vorversuchen am Hunde direkt schädliche Wirkungen nicht hatte erkennen lassen. Es ist eine Art Strohmehl, nur ist der außerordentlich bittere Geschmack des feinen Spelzmehles auffallend. Bei dem gröberen Material trat dieser Geschmack nicht in demselben Maße hervor.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß je zwei gesunde Soldaten G. (63 Kilo) und L. (58 Kilo) dieselbe Brotsorte gleichzeitig erhielten. Abgegrenzt wurde mit Milch und etwas Käse.

Das Brot wurde hergestellt[1] unter Zugabe von 10 Prozent Spelzmehl zum Mehl. Zwei Präparate waren verfügbar, ein feines und ein gröberes

[1] Vom Institut für Getreideverarbeitung unter Aufsicht von Prof. Buchwald.

Mehl, auch das letztere hatte den Charakter einer gut zerkleinerten Substanz und enthielt nicht etwa gröbere Teilchen. Als Vergleich diente eine Versuchsreihe mit Brot aus „Mischmehl", bestehend aus 50 Prozent Roggenmehl, 25 Prozent Maismehl, $12^1/_2$ Prozent Kartoffelstärke und $12^1/_2$ Prozent Kartoffelwalzmehl, es war uns in der entsprechenden Menge zur Verfügung gestellt worden.

Der Zusatz von 10 Prozent Spelzmehl wurde gewählt, da bei höherem Gehalt an Spelzmehl der bittere Geschmack sehr fühlbar wird, ganz ist er auch bei 10 Prozent nicht zu verdecken, wenn man lange kaut. Auch das Einklemmen kleiner Teile, von Spelz herrührend, zwischen die Zähne, wird man bei einiger Aufmerksamkeit noch bei 10 Prozent Zusatz wohl störend empfinden. Da die Spelzen im Munde nicht verdaut werden, bleiben die Teilchen ähnlich den Nußkernen unverändert zwischen den Zähnen.

II.

Zunächst soll über die analytischen Ergebnisse berichtet werden, die verwendeten Substanzen sind nachstehend aufgeführt.

Außer den üblichen Analysen sind mit Rücksicht auf die Bedeutung der Kohlehydrate einerseits die Stärkemengen direkt bestimmt und ferner die Analysen der Zellmembran in der Zufuhr und Ausfuhr ausgeführt worden, nach den früher in dieser Zeitschrift angegebenen Verfahren.

Aus dem verwendeten Mehl und den weiteren Zusätzen wurde die Zusammensetzung des Brotes berechnet, das stets für eine Versuchsreihe für zwei Personen auf einmal hergestellt wurde. Das Brot wurde mit Sauerteig aus dem gleichen Mehl verbacken. Spelzmehlbrot ist heller als das gewöhnliche Brot, ein Zusatz von 20 Prozent, so sollte man meinen, würde bei einiger Aufmerksamkeit auch dem Laien nicht entgehen können, die Erfahrung hat aber gelehrt, daß das Publikum auch in dieser Hinsicht den Nahrungsmitteln recht wenig Aufmerksamkeit schenkt, sonst wären Fälschungen mit Zusätzen bis zu 30 Prozent Spelzmehl, die vorgekommen sind, unmöglich gewesen.

Das Mischmehl enthält in 100 Teilen lufttrocken:

Trockensubstanz	85·49[1]
Asche	1·46
Organisches	84·03
Pentosan	3·88
Zellmembran	2·59 mit 0·74 Pentosan

[1] 100 Trockensubstanz: 3·25 Zellmebran mit 1·06 Pentosan 1·68 Zellulose.

Zellulose	1·43
Restsubstanz	0·42
Rohfaser	1·8
N	1·30 = 8·12 Protein
Stärke	62·30
Kalorien	363·8

In der 1. Versuchsreihe wurde nur Brot aus Mischmehl gegeben.

In der 2. Versuchsreihe wurden rund 10 Prozent Spelzmehl der gröberen Sorte gegeben. In der 3. Reihe das feine Spelzmehl; die Analysen ergaben folgendes:

	Grobes Spelzmehl (Nr. 5)	Feines Spelzmehl (Nr. 6)
Trockensubstanz	91·15	90·95
Asche	7·42	8·51
Organisches	83·73	82·44
N	0·39	0·67
Pentosan	30·89	26·51
Rohfaser	37·5	34·8
Stärke	18·10	14·4
Zellmembran	67·02 mit 24·64 Pentosan	59·60 mit 21·89 Pentosan
Zellulose	31·30	28·83
Restsubstanz	11·08	8·90
Kalorien	367·1	376·1

In der 4. Reihe wurde eine gleiche Mischung beider Spelzmehle (zusammen 10 Prozent) zugesetzt unter Beifügung einer Eiweißlösung nach bestimmter Vorschrift.

Versuchsreihe I.

Brot aus Mischmehl. Person G. (63 Kilo nackt).

10481 g hergestellten Brotes entsprechen 8000 g Mehl, 1 g Brot = 0·7633 g Mehl. 100 g Brot = 0·992 N. Die verzehrte Nahrung ergibt sich aus folgendem:

Verzehrt pro Tag:

	Brot g	Mehl g	N g	Fett g	Zucker g	Mehl Kal.	Fett Kal.	Zucker Kal.	Summe Kal.
18. VII.	1125	858	11·15	36 M.	62·5	3122	286	250	3658
19. VII.	836	637	8·31	47 B.	62·5	2317	336	250	2903
20. VII.	782	596	7·75	37 B.	62·5	2168	288	250	2706
21. VII.	650	496	6·45	40	62·5	1805	380	250	2935
Mittel	848	646	8·4	—	—	2353	—	—	2925

Die Ausscheidungen waren folgende pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
18. VII.	37	24	13·06	4·00	17·1	– 5·9
19. VII.	51	23	10·70	4·00	14·7	– 6·4
20. VII.	—	—	6·81	4·00	10·8	– 3·1
21. VII.	212	96	7·52	4·00	11·5	– 5·1
22. VII.	685	165				

Absolut Trockenkot = 308 g = 77·0 g pro Tag.

Die Ernährung war sehr reichlich und ging vielleicht über den Bedarf des Mannes, der nur Laboratoriumsdienste tat, hinaus. Im N-Verbrauch allerdings reichte er am 4. Tage noch nicht aus und gab noch erheblich vom Körper an N ab. Im ganzen verlor er während 4 Tage 20·43 g N, welche zum Teil an dem folgenden Tage freier Ernährung und an einem Milchtag zur Abgrenzung wieder ergänzt sein mochten.

Einnahme[1] und Ausgabe, Versuchsreihe I, Person G. pro Tag.

	Nahrung g	Ausscheidung g	Verlust Prozent
Trockensubstanz	552·3	69·8	12·6
Asche	9·8	6·9	73·1
Organisches	542·5	62·8	11·5
N	8·4	4·0	47·3
Stärke	402·4	5·1	1·3
Pentosan	25·1	8·5	33·6
Rohfaser	11·8	10·7	91·2
Zellmembran	18·0 mit 5·85 Pentosan	15·4 mit 5·8 Pentosan	85·5
Zellulose	9·3	5·75	61·7
Restsubstanz	2·9	2·90	65·5
Kalorien	2353	339·2	14·4

Über die Nahrungsaufnahme der Person L. (58 Kilo) ergibt sich für Versuch I. Brot das gleiche wie bei G. I.

Als Zufuhr ergibt sich

	Brot g	Mehl g	N im Mehl g
18. VII.	1003	765	9·97
19. VII.	849	648	8·45
20. VII.	733	558	7·27
21. VII.	753	574	7·48
Mittel	834	634	8·3

[1] Aus Brot.

Die ganze Nahrungsaufnahme bestand in

	Mehl g	Fett g	Zucker g	Mehl Kal.	Fett Kal.	Zucker Kal.	Gesamt-kal.
18. VII.	765	41	62·5	2781	389	250	3420
19. VII.	648	41	62·5	2379	389	250	3018
20. VII.	558	38	62·5	2030	361	250	2641
21. VII.	574	48	62·5	2088	456	250	2794
			Mittel	2319	—	—	2968

Die Ausscheidungen waren folgende:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
18. VII.	84	18	9·99	3·22	13·2	— 3·2
19. VII.	—	—	7·50	3·22	10·7	— 2·3
20. VII.	312	100	5·17	3·22	8·4	— 1·1
	30	10				
21. VII.	318	77	6·26	3·22	9·5	— 2·0
22. VII.	370	80				

Die Zusammensetzung der Kost[1] (Versuch I, Person L.) pro Tag war folgende:

	Nahrung g	Ausscheidung g	Verlust Prozent
Trockensubstanz . . .	537·0	64·5	11·8
Asche	9·3	4·9	52·6
Organisches	527·7	59·5	11·1
N	8·3	3·2	38·7
Stärke	396·8	11·9	3·0
Pentosan	24·7	7·8	31·6
Rohfaser	11·6	11·2	94·3
Zellmembran	17·3 mit 5·63 Pentosan 92·0	16·6 mit 5·18 Pentosan	95·9
Zellulose	9·1	8·8	96·7
Restsubstanz	2·6	2·6	100·0
Kalorien	2319	306·5	13·2

Versuchsreihe II.

Mischmehl mit Spelzmehl (Nr. 5) von gröberer Beschaffenheit gemischt. Das Brot wurde unbeanstandet genommen, auch Klagen über Gasbildung oder andere Unbequemlichkeiten nicht geäußert.

10791 Brot entsprachen 7200 Mischmehl + 800 g gröberes Spelzmehl. 1 g Brot = 0·667 g Mehl und 0·074 Spelzmehl. Daraus ergeben sich folgende Zufuhren:

[1] D. h. des Brotes.

	Brot	Mehl frisch	Spelzmehl	N im Mehl	N im Spelzmehl	Summe
25. VII.	880	587	65·2	7·66	0·26	7·9
26. VII.	1170	780	86·7	10·23	0·34	10·5
27. VII.	670	447	49·6	5·83	0·19	6·0
28. VII.	595	397	44·1	5·18	0·17	5·4
Mittel	829	553	61·4	—	—	7·4

	Mehl g	Spelz-mehl g	Fett g	Zucker g	Mehl Kal.	Spelz-mehl Kal.	Fett Kal.	Zucker Kal.	Summe Kal.
25. VII.	587	65·2	43	70	2135	239·2	408	280	3062
26. VII.	780	86·7	45 B.	70	2837	318.2	350	280	3805
27. VII.	447	49·1	45	—	1625	182·2	427	—	2234
28. VII.	397	44·1	50	—	1443	161·7	475	—	2080
Mittel	350	61·3	—	—	2010	—	—	—	2795

Die Ausscheidungen waren folgende pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
25. VII.	—	—	13·61	3·02	16·6	—8·7
26. VII.	262	53	9·78	3·02	12·8	—2·3
27. VII.	499	147	4·87	3·02	7·9	—1·9
28. VII.	301	97	4·34	3·02	7·4	—2·0
29. VII.	215	97	—	—	—	—
30. VII.	176	70	—	—	—	—

Einnahme und Ausgabe, Versuchsreihe II, Person G.

Die Einnahme von Brot setzt sich zusammen aus dem Gehalt des Mehles und des Spelzmehles.

	Mehl g	Spelzmehl (5) g	Snmme g	Kot g	Verlust Prozent
Trockensubstanz .	472·0	56·0	528·8	101·0	19·1
Asche	8·1	4·6	12·7	9·5	74·7
Organisches . . .	464·2	51·4	516·1	91·5	17·7
N	7·2	0·20	7·4	3·0	40·8
Stärke	344·5	11·1	355·6	7·93	3·7
Pentosan	21·4	18·3	39·7	21·7	54·8
Rohfaser	10·1	23·0	33·1	30·5	92·2
Zellmembran . .	15·3 mit 5·3 Pentosan	41·5 mit 15·1 Pentosan	56·8 mit 20·3 Pentosan	51·1 mit 20·2 Pentosan	89·9
Zellulose	7·9	19·4	27·3	23·4	85·7
Restsubstanz . .	2·2	7·0	8·6	7·5	87·2
Kalorien	2010	225·7	2238·0	471·9	21·1

Die Zufuhr von Versuchsperson L. war:

	Brot	Mehl	Spelzmehl	N im Mehl	N Spelzmehl	Summe
25. VII.	440	293	32·5	3·81	0·13	3·9
26. VII.	878	585	64·9	7·61	0·25	7·9
27. VII.	833	555	61·6	7·22	0·24	7·5
28. VII.	600	400	44·4	5·20	0·17	5·4
Mittel	688	458	50·8	—	—	6·2

Die Gesamtnahrungszufuhr war:

	Mehl g	Spelzmehl g	Fett g	Zucker g	Mehl Kal.	Spelzmehl Kal.	Fett Kal.	Zucker Kal.	Summe Kal.
25. VII.	293	32	38 B.	51	1065	117	295	204	1681
26. VII.	585	65	52 B.	51	2128	238	404	204	2974
27. VII.	555	62	45	51	2019	227	427	204	2877
28. VII.	466	44	50	51	1715	121	475	204	2515
Mittel	—	—	—	—	1729	176	—	—	2512

Die Ausscheidungen waren folgende pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
25. VII.	—	—	3·8	2·5	6·3	− 2·4
26. VII.	249 202	69 50	3·3	2·5	5·8	− 2·1
27. VII.	350	77	6·1	2·5	8·6	− 1·1
28. VII.	244	54	2·4	2·5	4·9	+ 0·5

Einnahmen und Ausgaben, Versuchsreihe II, Person L. pro Tag:

	Mehl g	Spelzmehl (5) g	Summe g	Kot g	Verlust Prozent
Trockensubstanz .	391·0	46·5	438·9	70·9	16·1
Asche	6·7	3·8	10·5	7·0	66·9
Organisches . . .	384·3	42·7	428·4	63·9	14·9
N	6·0	0·2	6·2	2·5	39·9
Stärke	286·0	9·2	295·2	7·8	2·6
Pentosan	17·8	15·1	32·9	13·7	41·6
Rohfaser	8·3	19·1	27·4	19·1	69·6
Zellmembran . .	11·8 mit 3·4 Pent.	34·4 mit 12·5 Pent.	46·2 mit 15·9 (76·2)	31·9 mit 12·12	69·0
Zellulose	6·5	16·1	22·6	15·00	66·3
Restsubstanz . .	1·9	5·8	7·7	4·8	62·3
Kalorien	1732	176	1908	325·3	17·0

Versuchsreihe III.

Mischmehl mit Spelzmehl Nr. 6 der feinen Sorte gemischt. Es wird durch Absieben gewonnen und enthält zweifellos andere Formbestandteile wie das gröbere Mehl, auch der stark bittere Geschmack weist darauf hin, daß nicht nur physikalische Unterschiede der Verteilung vorliegen.

Versuchsperson G.

11128 g Brot = 7200 Mehl + 800 g Spelzmehl (fein). 1 g Brot = 0·647 g Mehl und 0·072 Spelzmehl.

Daraus ergibt sich folgende Zufuhr:

	Brot	Mehl	Spelzmehl fein	N im Mehl	N im Spelzmehl	Summe
1. VIII.	1327	858	95·9	11·2	0·64	11·8
2. VIII.	762	493	57·0	6·43	0·38	6·8
3. VIII.	864	559	62·2	7·29	0·42	7·7
4. VIII.	740	479	53·3	6·25	0·36	6·6
Mittel	923	597	67·1	—	—	8·2

Die Nahrungsmengen im ganzen ergaben sich wie folgt:

	Mehl g	Spelzmehl g	Fett g	Mehl Kal.	Spelzmehl Kal.	Fett Kal.	Summe Kal.
1. VIII.	858	95·9	48	3120	360·6	456	3927
2. VIII.	493	57·0	40B.	1812	214·4	312	2338
3. VIII.	559	62·2	45	2033	233·9	427	2694
4. VIII.	479	53·3	45	1763	197·0	427	2387
	—	+ Butter	—	2182	251	—	2838

Die Ausscheidungen waren folgende pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
1. VIII.	120	31	13·70	3·42	17·1	— 5·3
2. VIII.	430	112	8·43	3·42	11·9	— 5·0
3. VIII.	327	88	7·65	3·42	11·1	— 3·4
4. VIII.	277	79	6·44	3·42	9·9	— 3·3
5. VIII.	240	77				

Einnahmen und Ausgaben. Versuchsreihe III, Person G.

	Mehl g	Spelzmehl g	Summe g	Kot g	Verlust Proz.
Trockensubstanz	515·5	60·5	576·0	93·2	16·3
Asche	8·7	5·7	14·4	10·0	69·8
Organisches . .	506·8	54·8	561·6	83·2	14·9
N	7·8	0·4	8·2	3·2	38·5
Stärke	372·1	9·6	381·7	11·9	3·1
Pentosan . . .	23·2	17·6	40·8	17·9	44·0
Rohfaser . . .	10·9	23·2	34·1	23·2	68·1
Zellmembran . .	15·4 mit 4·4 P.	40·0 mit 14·7 P.	55·4 mit 19·1 P.	36·8 mit 12·7 P.	66·4
Zellulose . . .	8·5	19·3	27·8	17·7	63·6
Restsubstanz . .	2·5	6·0	8·5	6·4	75·3
Kalorien . . .	2182·9	251·1	2434	429·7	17·7

Versuchsperson L.

Die Zufuhr war:

	Brot	Mehl	Spelzmehl	N im Mehl	N im Spelzmehl	Summe N
1. VIII.	865	561	62·2	7·29	0·42	7·7
2. VIII.	735	476	52·9	6·19	0·35	6·5
3. VIII.	935	504	67·3	7·85	0·45	8·3
4. VIII.	720	465	51·8	6·05	0·35	6·4
Mittel	814	527	58·5	—	—	7·2

Die Gesamteinnahmen ergeben sich wie folgt.

	Mehl g	Spelzmehl g	Fett g	Mehl Kal.	Spelzmehl Kal.	Fett Kal.	Summe Kal.
1. VIII.	561	62	45	2041	233	427	2701
2. VIII.	476	53	40 B.	1752	196	312	2260
3. VIII.	504	67	40 B.	2197	252	312	2761
4. VIII.	465	52	60	1711	174	450	2335
Mittel	—	—	—	1925	214	—	2539

Die Ausscheidungen waren pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
1. VIII.	—	—	2·40	2·70	5·1	+ 2·6
2. VIII.	455	110	2·29	2·70	5·0	+ 1·5
3. VIII.	305	85	6·43	2·70	9·1	− 0·8
4. VIII.	232	44	5·98	2·70	8·7	− 2·3
5. VIII.	310	80				

Einnahmen und Ausgaben, Versuchsreihe III, Person L.

	Mehl g	Spelzmehl g	Summe g	Kot g	Verlust Proz.
Trockensubstanz	450·1	53·2	503·2	71·5	14·2
Asche	7·7	5·0	12·7	7·1	56·4
Organisches	442·4	48·2	490·6	64·6	13·2
N	6·9	0·4	7·3	2·7	37·1
Stärke	328·0	8·4	336·0	7·8	2·3
Pentosan	20·4	15·5	35·9	13·3	36·9
Rohfaser	9·1	20·4	29·9	17·2	57·3
Zellmembran	13·6 mit 3·9 P.	34·8 mit 12·7 P.	48·4 mit 16·6 P.	31·8 mit 11·0 P.	65·7
Zellulose	7·5	16·8	24·3	13·5	55·5
Restsubstanz	2·1	5·3	7·4	7·3	100·0
Kalorien	1925·1	214·1	2139·0	338·0	15·8

Versuchsreihe IV.

Mischmehl mit einer Mischung beider Spelzmehle und Zusatz von Eiweißlösung. Von 100 Teilen Gesamt-N treffen auf Mehl 69·9, auf Spelzmehl 2·9, auf Eiweiß 27·2 Prozent.

Versuchsperson G.

11754 g Brot = 7200 Mischmehl + 800 Spelzmehl (grobes und feines zu gleichen Teilen) + 2500 Eiweißlösung. 1 g Brot = 0·613 Mehl = 0·068 Spelzmehl + 0·213 Eiweißlösung mit 0·019 Trockensubstanz = 0·0031 g N. (1 ccm = 0·091 Trockensubst. und 14·42 mg N).

Daraus ergibt sich folgende Zufuhr:

	Brot	Mehl	Spelzmehl	Eiweiß trocken	N im Mehl	N im Spelzm.	N im Eiweiß	Summe
8. VIII.	1233	756	79·0	24·2	9·86	0·42	3·8	14·1
9. VIII.	703	431	47·7	13·3	5·62	0·25	2·1	7·9
10. VIII.	608	373	41·3	11·5	4·86	0·22	1·9	6·9
11. VIII.	920	569	63·1	17·6	7·41	0·33	2·9	10·6
Mittel	866	532	57·8	18·5	—	—	—	9·9

Die Nahrungsmengen im ganzen ergaben sich wie folgt:

	Mehl g	Spelz-mehl g	Ei-weiß g	Fett g	Mehl Kal.	Spelz-mehl Kal.	Eiweiß Kal.	Fett Kal.	Summe Kal.
8. VIII.	756	79	24	70	2750	293	99	655	3797
9. VIII.	431	48	13	70 B.	1588	178	54	545	2365
10. VIII.	373	41	11	45	1355	152	49	427	1983
11. VIII.	569	63	18	45	2070	237	75	427	3009
Mittel	—	—	—	—	1941	215	—	—	2788

Die Ausscheidungen waren folgende pro Tag:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
8. VIII.	254	76	13·43	2·32	15·8	−1·7
9. VIII.	218	64	6·78	2·32	9·1	−0·8
10. VIII.	129	47	6·30	2·32	8·6	−1·7
11. VIII.	450	103	6·43	2·32	8·8	+1·8
12. VIII.	?	29	—	—	—	—

Einnahmen und Ausgaben, Versuchsreihe IV, Person G.

	Mehl g	Spelzmehl g	Eiweiß g	Summe g	Kot g	Verlust Prozent
Trockensubstanz .	454·8	54·1	21·4	530·3	69·5	13·1
Asche	7·8	4·7	4·9	17·4	8·4	48·3
Organisches . . .	447·0	39·4	16·5	512·9	61·1	11·9
N	6·9	0·3	2·4	9·7	2·3	24·1
Stärke	331·4	9·6	—	341·0	7·6	2·2
Pentosan	206·0	16·7	—	37·3	13·5	36·0
Rohfaser	9·7	21·5	—	31·2	16·9	54·3
Zellmembran . .	13·7 und 3·9 P.	36·7 mit 13·3 P.	—	50·4 mit 17·2 P.	34·3 mit 13·0 P.	67·7
Zellulose	7·6	17·5	—	25·1	13·7	54·6
Restsubstanz . .	2·2	5·9	—	8·1	7·6	93·9
Kalorien	1941	215	63·4	2220·0	319·7	14·4

Versuchsperson L.

Die Nahrungszufuhr war folgende:

	Brot	Mehl	Spelz-mehl	Eiweiß trocken	N im Mehl	N im Spelzm.	N im Eiweiß	Summe
8. VIII.	572	351	38·9	10·9	4·56	0·21	1·77	6·51
9. VIII.	772	474	52·5	14·7	6·16	1·28	2·39	9·81
10. VIII.	978	599	66·5	18·6	7·80	0·35	3·03	11·2
11. VIII.	900	552	61·2	17·1	7·18	0·33	2·79	10·3
Mittel	806	494	54·8	—	42·00	—	—	9·5

Daraus ergaben sich folgende Zufuhren:

	Mehl g	Spelzmehl g	Eiweiß g	Fett g	Mehl Kal.	Spelzmehl Kal.	Eiweiß Kal.	Fett Kal.	Summe Kal.
8. VIII.	351	38·9	10·9	70	1275	144	46	655	2120
9. VIII.	474	52·5	14·7	70 B.	1743	195	62	545	2545
10. VIII.	599	66·5	18·6	45	2178	247	79	427	2931
11. VIII.	552	61·2	17·1	45	2007	227	72	427	2733
Mittel	—	—	—	—	1801	203	—	—	2582

Die Ausscheidungen waren folgende:

	Kot frisch	Kot trocken	Harn N	Kot N	Gesamt-N	Bilanz
8. VIII.	177	42	4·64	3·40	8·0	−1·5
9. VIII.	223	57	3·45[1]	3·40	6·9	−2·9[1]
10. VIII.	255	92	1·76[1]	3·40	6·2	−5·0[1]
11. VIII.	?	235·4	2·23[1]	3·40	5·6	−4·7[1]

Einnahmen und Ausgaben der Versuchsreihe IV, Person L.

	Mehl g	Spelzmehl g	Eiweiß g	Summe g	Kot g	Verlust Prozent
Trockensubstanz .	448·1	52·9	21·3	522·3	81·6	16·3
Asche	7·6	4·6	4·9	17·1	8·6	70·2
Organisch . . .	440·5	48·3	16·4	505·2	73·0	14·9
N	6·8	0·3	2·3	9·4	3·4	35·8
Stärke	326·6	9·4	—	336·0	6·0	2·1
Pentosan	20·3	16·3	—	36·6	12·8	34·8
Rohfaser	9·5	21·0	—	30·5	22·5	73·6
Zellmembran . .	12·8 mit 3·6 P.	34·8 mit 12·12 P.	—	47·6 mit 15·8 P.	41·2 mit 13·0 P.	87·3
Zellulose	7·0	16·54	—	23·5	14·0	59·5
Restsubstanz . .	2·2	6·1	—	8·3	—	—
Kalorien	1801	203	60·0	2065	385·2	18·7

III.

Auf Grund der vorliegenden Versuche läßt sich über die Ausnützung und sonstigen Stoffwechselfragen folgendes sagen:

Ein Vergleich über die Ausnützungsgröße kann sich nicht auf den Vergleich der eingeführten und verausgabten Trockenmengen stützen, auch die bloße Vergleichung der organischen Substanz, wenn auch schon zu-

[1] Harn verloren gegangen?

treffender, gibt noch kein ganz entscheidendes Resultat. Das sicherste Ergebnis erhalten wir durch Berechnung der Kalorienzufuhr und -ausfuhr.

Bei solchen Vergleichen bleibt der Grund der ungleichen Ausnützung vorläufig unentschieden. Ihn festzustellen, wird die Aufgabe weiterer Betrachtung sein. Vergleiche mit den Ergebnissen an anderen Versuchspersonen werden stets mit Vorsicht aufzunehmen sein, man beachtet bisher zu wenig, daß es zweifellos nicht gleichgültig sein wird, ob eine Person in der Versuchsnahrung im Verhältnis zu ihrem Bedarf wenig oder viel aufgenommen hat. Der Stoffwechselanteil des Kotes ist immer vorhanden, auch wenn gar keine Nahrung genossen wird. Auch ist es sicher, daß manchmal durch ein Nahrungsmittel so reichlich Verdauungssäfte angeregt werden, daß die Resorption eines zweiten, wie sie Einer von uns (R.) vielfach beobachtet hat, gewissermaßen so nebenbei besorgt wird. Vergleiche können zwischen den Ergebnissen verschiedener Beobachter also nur dann zulässig sein, wenn die Versuchsbedingungen vollkommen analog sind. Wir machen darauf besonders aufmerksam, weil auf dieses Verhältnis auch in der Neuzeit kein Gewicht gelegt wird. Auch die literarischen Zusammenstellungen über die „Ausnützung" der Nahrungsmittel, wie sie bei König gegeben sind, sind in der dort gegebenen Form unverwendbar zu Mittelzahlen, weil sie die näheren Bedingungen und Ungleichheiten der verschiedenen Versuche gar nicht zum Ausdruck bringen.

Will man nun das Gesamtergebnis der Kalorienverluste auf Grund der Kalorienzufuhr vergleichen, so kann man die Gesamtkalorien der einzelnen Reihen nicht verwenden, da neben Brot noch Fett und Zucker, letzterer aber nur in einzelnen Reihen benutzt wurde. Fett wird nach früheren Versuchen Rubners bekanntlich bei kleinen Mengen völlig aufgenommen, wie auch der Zucker, läßt man die beiden von der Berechnung weg, so hat man:

	Kalorienzufuhr an Brot und Spelzmehl	Kalorien des Kotes	%-Verlust	
G. . . .	2356	339	14·4	13·8
L. . . .	2317	306	13·2	
G. . . .	2238	472	21·1	19·1
L. . . .	1908	325	17·0	
G. . . .	2434	430	17·6	16·7
L. . . .	2135	338	15·8	
G. . . .	2120	320	14·4	16·5
L. . . .	2065	385	18·7	

Ein Nahrungsmittel, welches einen Energieverlust von 13 bis 14 Prozent aufweist, gehört bereits zu den schlecht ausnützbaren, so steht es mit dem

Brot in obiger Reihe. Alle weiteren Kombinationen mit dem Spelzmehl steigern den Verlust beträchtlich, obschon nur 10 Prozent an Spelzmehl als Zusatz verwendet worden war. Es ist ein Unterschied zwischen dem Verlust bei gröberem Spelzmehl, der etwas größer ist und jenem des feinen Mehles, das etwas besser ausgenützt wird. Das Mischmehl steht in der Mitte zwischen dem feinen und groben Spelzmehl.

Setzt man zu einem gut resorbierbaren Nahrungsmittel ein Material, das schlecht ausnützbar ist, so kann durch Reizung des Darmes eine Verminderung der Resorption sonst gut resorbierbarer Anteile der Kost eintreten, oder es kann eine Vermehrung der Darmsekretion mit Mehrung von Stoffwechselprodukten eintreten. Die älteren Untersuchungen und viele der neuesten Zeit beachten zum Teil diese wichtige Fragestellung überhaupt nicht. Auch hat man bisher außer in den vorangehenden Experimenten des Einen von uns (R.) eine Scheidung zwischen sekundärer Verschlechterung der Ausnützung gut resorbierbarer Teile und Vermehrung der Stoffwechselprodukte nie erwogen, weil die Methoden zu einer solchen Klärung fehlten.

Der Eine von uns (R.) hat schon mehrfach darauf verwiesen, daß die Verschlechterung der Ausnützung gut resorbierbarer Teile durch fremde, schwer resorbierbare Zusätze durchaus nicht so häufig ist, als man auf Grund der Versuche von Franz Hofmann angenommen hatte. Besonders in den Versuchen am Hunde wurde gezeigt, daß nur selten eine Mehrung der Stoffwechselprodukte durch beigegebene Zellmembranen veranlaßt wird; immerhin kann dieser Fall eintreten[1], wie z. B. bei der Hefe und dem Holzmehl usw. Nach Versuchen, die von anderer Seite angestellt wurden, bedingt die schlechte Zubereitung, wie sie das Hindhedebrot z. B. zeigt, eine Verschlechterung der Ausnützung von anderen Nahrungszusätzen.

Die Beantwortung der gestellten Fragen läßt sich für das Spelzmehl ganz präzis durchführen. Zuerst mag die Menge der Stoffwechselprodukte im Kot für die einzelnen Versuchsreihen festgestellt werden. Man könnte den Weg einschlagen und von dem Kote alle Substanzen in Abzug bringen, welche als Reste der Nahrungsmittel nachgewiesen sind.

Einwandfreier ist folgender Weg, der auf der Berechnung der Kalorien beruht, welche in den festen Ausscheidungen verbleiben, wenn man die Wärmewerte der von der Nahrung herrührenden Teile abzieht.

Von den Kalorien gehen ab:

1. die Kalorien der Zellmembran (1 g = 4·0 nach Versuchen am Hunde),
2. die Kal. der entleerten direkt bestimmten Stärke (1 g = 4·18 Kal.),
3. die Kal. der gelösten im Kot enthaltenen Pentosane (1 g = 3·9).

---

[1] S. *dieses Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg.

Andere, von der Nahrung herrührende Reste sind nicht anzunehmen. Zucker war nur in einzelnen Fällen gegeben, das Kotfett ist aber gleichmäßig in nur geringen Mengen vorhanden und rührt in analogen Fällen gar nicht von der Fettzufuhr her. Nur das unresorbierbare Eiweiß wäre noch zu berücksichtigen gewesen, doch war dieser Anteil klein und verteilt sich gleichmäßig auf alle 4 Reihen.

Es ergibt sich folgendes:

	Kot organ.		in Zellmembran	Stärke	Pentosan	Zellmembran	Stärke	Pentosan	Summe	Rest für Stoffwechselbestandteile
	g	Kal.	g	g	g	Kal.	Kal.	Kal.		
					Mischmehl					
G.	62·8	339·2	15·4	5·1	2·7	61·6	21·4	10·5	93·5	246·0
L.	59·5	306·5	16·6	11·9	2·6	66·4	50·3	10·1	126·4	180·1
					Zusatz groben Spelzmehls					
G.	91·5	471·9	51·1	7·9	1·5	204·4	33·2	5·8	243·4	229·1
L.	63·9	325·3	31·9	7·8	1·6	127·6	32·8	5·9	166·3	159
					Zusatz feinen Spelzmehls					
G.	83·2	429·7	36·8	11·9	5·2	147·2	50·0	20·2	217·4	212
L.	64·4	338·0	31·8	7·8	2·2	127·2	32·8	8·5	168·5	170
					Mischung beider					
G.	61·1	319·7	34·3	7·6	0·5	137·2	31·9	1·9	171·0	148
L.	73·0	385·2	41·2	6·0	0	164·8	25·2	0	189·0	196

Die Mittelwerte für die Stoffwechselprodukte sind:

bei Mischmehlbrot 213
bei Zusatz von grobem Spelzmehl 194
" " " feinem " 191
" " " gemischtem " 173

Setzt man die Stoffwechselprodukte in rechnerische Beziehung zu den Kalorien im zugeführten Mehl und berechnet den prozentigen Verlust, so hat man:

	Zufuhr von Mehl in Kal. pro Tag	Stoffwechselprodukte des Kotes in Kal.	%-Verlust
Mischmehl	2335	213	9·5
Zusatz von grobem Spelzmehl . .	1871	194	10·3
Zusatz von feinem Spelzmehl . .	2053	191	9·3
Zusatz von gemischtem Spelzmehl	1870	173	9·2

Bis auf den zweiten Versuch, der um 1 Prozent höheren Wert zeigt, stimmen die übrigen sehr genau überein.

Das Spelzmehl hat also nur dort, wo es als gröberes Mehl angewandt wurde, vielleicht die geringe Steigerung der Stoffwechselprodukte hervorgerufen. Beim Hunde dagegen hat sich ein die Stoffwechselprodukte steigernder Einfluß wohl erkennen lassen. Die Ursache dieser Verschiedenheit liegt darin, daß der Hund relativ mehr von den Spelzen erhalten hatte, als die zu den Versuchen dienenden Menschen. Die Ausnützung des Mischbrotes ist nicht verändert worden.

Die Stoffwechselprodukte sind in allen 4 Versuchsreihen, in denen ja das Brot schließlich die bestimmende Nahrung war, reich gewesen. Daher wird es notwendig sein, in Kürze auf dieses Mischbrot aus Roggen, Mais und Kartoffelmehl einzugehen.

Bei feinem Weizenmehl betrug der Verlust durch Stoffwechselprodukte

Mittel für Person Th. und K.	3·2	Prozent der Kal. der Zufuhr
für dekortiziertes Vollkornweizenmehl	7·3	,, ,, ,, ,, ,,
für dieses Roggenbrot beträgt das Mittel	9·5	,, ,, ,, ,, ,,

Von dem Gesamtverlust im Kot sind 66·1 Prozent Stoffwechselprodukte = 33·9 Prozent Unverdauliches, was mit dem Ergebnis an Vollkornweizen 65·6 Prozent Stoffwechselprodukte = 34·4 Prozent Unverdauliches — zufällig oder ursächlich —, darüber läßt sich vorläufig nichts entscheiden — gut übereinstimmt. Wir können uns auch noch kein Bild davon machen; daß es sich dabei weniger um ein mechanisches Moment als vielleicht um Einwirkung bestimmter Substanzen auf den Darm handelt, geht schon daraus hervor, daß die Zulage von 10 Prozent Spelzmehl eine Mehrung der Stoffwechselprodukte nicht herbeigeführt hat. Ebenso ist nicht zu entscheiden, ob die Mehlmischung oder der Sauerteig die geringe Steigerung gegenüber dem Vollkornweizenbrot herbeiführt. Jedenfalls ist diese Art Kriegsbrot nichts weniger als ökonomisch.

Wieviel von dem Spelzmehl aufgelöst wird, läßt sich mit einiger Annäherung sagen:

Bei dem gröberen Mehl wurden verfüttert

bei G.	225 Kal.,	im Kot waren vom Spelzmehl	204·4 Kal.
bei L.	176 ,,	,, ,, ,, ,, ,,	127·6 ,,
Mittel	200 Kal.		166 Kal.

= 83% Verlust + 17% verdaulich

Bei feinem Spelzmehl wurden verfüttert

bei G.	251·4 Kal.,	im Kot waren vom Spelzmehl	147·2 Kal.
bei L.	213·7 ,,	,, ,, ,, ,, ,,	127·2 ,,
Mittel	232·5 Kal.		142·2 Kal.

= 58% Verlust + 42% verdaut

Die absolute Menge an aufgeschlossenen Kalorien aus Spelzmehl war
bei Versuch II 72 pro Tag
III 90 pro Tag
Davon geht noch ab bei II 6 Kal. f. Pentosane, die noch in Lösung waren = 66 Kal. als Nutzeffekt,
bei III 14 Kal. f. Pentosane, die noch in Lösung waren = 76 Kal. als Nutzeffekt.

Da es sich dabei auch noch um Gärungsvorgänge gehandelt haben wird, mit Verlust an flüchtigen Stoffen und niederen Fettsäuren, so wird der wahre Nutzeffekt noch viel kleiner gewesen sein. So wie so kommt ein derartiger Gewinn bei einem täglichen Umsatz von 2500 Kal. überhaupt nicht in Frage, ganz abgesehen von den sonstigen Nebenwirkungen, die schon erwähnt sind.

Die Ausnützung der Zellmembran und ihrer Bestandteile war folgende. Verlust in Prozent:

	Zellmembran	Pentosen in Z.	Zellulose	Restsubstanz
		Brot		
Person G. . . .	85·5	100	61·7	65·5
Person L. . . .	95·9	92·0	96·7	100·0
Mittel	90·7	96·0	79·2	82·7
		Brot mit grobem Spelzmehl		
Person G. . . .	89·9	100·0	85·7	87·2
Person L. . . .	69·0	76·2	66·3	62·3
Mittel	79·4	88·1	76·0	74·7
		Brot mit feinem Spelzmehl		
Person G. . . .	66·4	66·5	63·6	75·3
Person L. . . .	65·7	66·1	55·5	100·0
Mittel	66·0	66·3	59·5	87·5
		Brot mit gemischtem Spelzmehl		
Person G. . . .	67·7	75·6	54·6	93·9
Person L. . . .	87·3	82·2	59·5	—
Mittel	77·5	78·9	57·1	—

Ist die Ausnützung auch innerhalb einiger Grenzen schwankend, wie das gerade auf dem Gebiete der Zellmembranlösung die Regel zu sein scheint, so läßt sich doch erkennen, daß die Spelzzellmembran nicht schlechter, eher etwas besser ausgenützt wird, als die Gemische der Zellmembran des Brotes aus Mischmehl. Man darf für diesen Zweck das Mittel aus allen Ergebnissen der Spelzversuche dem Brote gegenüberstellen.

	Zellmembran	Pentosan in Zellmembran	Zellulose
Verlust bei Brot . . .	90·7	96·0	79·2
Mittel für Spelzmehl[1] .	75·1	78·0	62 4

Das Spelzmehl steht aber wieder in der Ausnützung hinter der reinen Kleie eines Brotes mit hoher, aber nicht vollständiger Ausmahlung zurück.

Ein Vergleich des prozentigen Verlustes derselben Spelzpräparate zwischen Mensch und Hund ergibt folgendes:

	Feines Spelzmehl		Grobes Spelzmehl	
	Mensch	Hund	Mensch	Hund
Zellmembran	66·0	61·9	79·4	85·5
Zellulose	59·5	73·5	76·0	83·5
Pentosen in Zellmembran . . .	66·1	63·5	88·1	85·5
Lignine usw.	59·5	21·0	74·7	85·5

Im ganzen sind also die Unterschiede in der Verdaulichkeit nicht erheblich, nur unter den Ligninsubstanzen war bei Hund bei feinem Spelzmehl die Resorption erheblich besser als die der anderen Zellbestandteile. Offenbar handelt es sich bei dem Spelzmehl, wie das a. a. O. schon im Vergleich mit der Weizenkleie gezeigt worden ist, um weit schwerer angreifbares Material, das auch der menschliche Darm wenig gut verwertet. Zum Teil beruht das auf dem höheren Zellulosegehalt des Spelzmehles. Im übrigen zeigt die Ausnützung der Zellbestandteile viel Unregelmäßigkeiten, wie das so häufig zu finden ist. Die Mittel der Auflösung stehen dem Körper nicht in dem Maße zur Verfügung, wie hinsichtlich jener Prozesse, die rein fermentativer Natur verlaufen. Die Rohfaserbestimmungen decken sich weder mit der Gesamtausnützung der Zellmembranen völlig, noch mit der Zellulosebestimmung, doch geben sie entsprechend ihrer Qualität als unreine Zellulose beim Vergleich mit dieser die Richtung der Veränderung der Zelluloseausnützung genähert an:

	Der Verlust an Rohfaser	Mittel	Zellulose Verlust
Reihe I. Person G.	91·2	92·8	79·2
L.	94·3		
„ II. „ G.	92·1	80·9	76·0
L.	69·7		
„ III. „ G.	68·1	62·7	54·6
L.	57·3		
„ IV. „ G.	54·3	63·9	57·1
L.	73·6		

[1] Das Mittel ist gebildet aus Versuch II und III, dann dieser Wert mit IV kombiniert.

Der starke Abfall der Rohfaserzahlen in Versuch III hängt von der Zerkleinerung des Materials ab, das leichter beim Kochen mit Säuren und Alkali aufgelöst wird. Die Rohfaserbestimmungen geben wohl einige Anhaltspunkte hinsichtlich der Verdaulichkeit bei Produkten derselben Art, aber keinen Fingerzeig für die genauen Vorgänge, besonders nicht bei Material verschiedener Herkunft.

Den N-Verlust kann man nicht unmittelbar erfahren, wenn man Einnahmen und Ausgaben gegenüberstellt, weil ja auch hier zwischen Stoffwechselprodukten und Unresorbierten geschieden werden muß. Für die Stoffwechselprodukte fand der Eine von uns (R.) bei reichlicher Stärkekost rund 1·3 g N pro Tag in früheren Versuchen. Die vorliegenden Versuchsreihen gestatten eine Nachprüfung dieser Fragen.

Gerade bei Zellmembranen, wie sie im Brote vorkommen, haftet der unverdaute N fest an der Zellmembran — man kann ihn daher bei der Analyse der letzteren direkt bestimmen und erhält gute Anhaltspunkte für den wahren Eiweißverlust.

Mittelwerte.

	Einnahme an N	Ausscheidung im Kot	Verlust an Nahrungs-N im Kot	Rest für Stoffwechselprodukte	Verlust an Nahrungs-N in Prozenten
Mischmehlbrot . . .	8·35	3·6	2·12	1·48	25·3
Mit gröberem Spelzmehl	6·8	2·75	1·64	1·11	24·1
Feineres Spelzmehl . .	7·75	2·95	1·54	1·41	19·9
Gemischtes Spelzmehl .	9·55	2·85	1·72	1·13	18·0

Der N-Verlust ist also besonders bei dem Mischmehlbrot groß, bei Versuch mit feinerem Spelzmehl ist der auf Stoffwechselprodukte fallende Anteil etwas größer, der Verlustanteil an Nahrungs-N kleiner, Versuch IV mit gemischtem Spelzmehl scheidet aus, da hier auch Eiweiß in geringen Mengen zugelegt war, was natürlich den Nutzeffekt steigert. Der auf die Stoffwechselprodukte im allgemeinen treffende Anteil zeigt Schwankungen, die bei der Kleinheit der Zahlen wahrscheinlich auf wechselnder Auflösung des N bei der Reinigung der Zellmembranen begründet sein können, in absolutem Wert sind die Differenzen gering. Im Mittel beträgt der N-Stoffwechselverlust 1·3 g, eine Zahl, die, wie oben angegeben, bei reichlicher Ernährung mit N-freier Pflanzenkost schon früher gefunden wurde.

Was die Resorption der Pentosen bzw. der Pentosane anlangt, so liegt ein prinzipieller Unterschied einzelner Verbindungen vor. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß im Getreidekorn ein ganz erheblicher Anteil

der Pentosane in der Zellmembran enthalten ist, und da diese schwer resorbierbar sein kann, werden auch diese Pentosane in großer Menge mit den Zellhüllen abgehen. Es gibt aber viele Pflanzen, in denen das Pentosan in ganz überwiegendem Maße überhaupt in der Zellmembran enthalten ist.

Auch ist hervorzuheben, daß man bei der Darstellung des Stärkemehles aus dem Getreide Pentosen in großer Menge in der schlammigen Schicht findet, die über dem ausfallenden und fest sich zusammenschließenden Stärkemehl steht.

Die Pentosane von Zellhüllen werden manchmal wohl erst im Dickdarm herausgelöst und bleiben dann unresorbiert dort liegen. Über die Gesamtpentosanverluste entscheidet bei Brot also die Verdauung der Zellmembran vor allem. Es hat Interesse, hier für die Pentosane der Zellmembran und für die nicht in der Zellmembran enthaltenen die Verluste zu berechnen.

	Gesamtverlust an Pentosan Prozent	Freies Pentosan[1] Prozent Verlust	Zellmembran Pentosan Prozent Verlust	Verlust an Stärkemehl Prozent
Reihe I. G.	33·6	14·1	100	1·3
L.	31·6	13·6	92	3·0
„ II. G.	54·8	9·3	100	3·7
L.	41·6	11·1	76	2·6
„ III. G.	44·0	27·6	66	3·1
L.	36·9	13·3	66	2·3
„ IV. G.	36·0	2·9	76	2·2
L.	34·8	0	82	2·1

Der Unterschied in der Resorption ist außerordentlich groß. Gewisse Differenzen können für die freien Pentosen dadurch in der Berechnung entstanden sein, daß man ja nicht sicher weiß, außer in den Fällen, in denen von den Zellmembranpentosanen überhaupt nichts resorbiert ist, ob nicht die freien Pentosane des Kots liegengebliebene Anteile gelöster Zellmembranpentosane sind. Jedenfalls ist die Resorbierbarkeit für die freien sehr bedeutend, aber doch weniger gut als die Resorbierbarkeit der Stärke.

Von dem Getreidekorn wurden durch diese und die bereits früher mitgeteilten Versuche nachgewiesen, daß die verschiedenen Zellmembranen, welche sich an seinem Aufbau beteiligen, sehr ungleiche Verdaulichkeit besitzen. Nicht günstig resorbierbar sind zweifellos die Fruchtschalen, die in

[1] Die resorbierten Pentosane machten pro Tag 15 bis 16 g aus.

ihrer Zusammensetzung mit ihrem hohen Pentosangehalt an die inneren Schichten, an die Samenschalen der Kleberschicht erinnern. Diese selbst gehört zweifellos, wenn man über die Brotfrucht im Vergleich hinausgreifen will, zu den Zellmembranen recht mäßiger Verdaulichkeit. Recht gut resorbierbar ist dagegen die Zellmembran des Mehlkerns. Die Spelzen, die Träger der Körner, haben, wie diese Untersuchungen ergeben, ein ungünstiges Resorptionsverhältnis, weit ungünstiger als die eigentliche Kleie und sind wohl der Strohmasse nahestehend. Auch ihre chemische Zusammensetzung stellt sie dieser offenbar nahe. Der höhere Zellulosegehalt ist an sich nach dieser Richtung bemerkenswert. Von den Produkten, welche sich isolieren lassen, fehlt jetzt nur noch der Embryo, über dessen Bedeutung als Nahrungsstoff und Resorptionsfähigkeit eine der nächst folgenden Abhandlungen nähere Auskunft gibt.

Über die Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Keime einiger Zerealien.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

In neuerer Zeit hat man Verfahren gefunden, welche gestatten, durch besondere Art der Vermahlung den Keimling mit etwas beigemengten Hülsen bei Mais, aber auch bei Roggen und Weizen abzuscheiden. Es gelingt aber zurzeit nicht, bei allen Körnerfrüchten diese Scheidung durchzuführen, da die Einbettung der Keimlinge in das Korn nicht überall gleich günstig liegt. Es kommt ganz auf die Art der Technik an, inwieweit man den Keimling möglichst wenig verunreinigt, durch Hülsen oder Stärke abzutrennen vermag; je nach der Güte der Technik erhält man Material mehr oder minder reich an Kleie. Zweck der Entkeimung ist bisher die Ölgewinnung gewesen. Das Keimlingsmehl ist so reich an Fett, daß man dies schon durch Pressen erhalten kann, auch die Extraktion mit fettlösenden Mitteln ist in die Technik eingeführt. Je frischer die Körnerfrüchte entfettet werden, um so fettsäurefreier sind die Fette, aus denen dann durch Beseitigung der Fettsäuren völlig neutral reagierende Öle hergestellt werden. Sie sind bei gewöhnlicher Temperatur flüssig und von gelber Farbe. Das Maisöl z. B. wurde seit Jahren auf italienische Rechnung in Deutschland hergestellt und wahrscheinlich im Heimatlande des Olivenöls zu dessen Streckung verwendet. Das Getreide wird durch die Entfettung haltbarer und besser schmeckend, weil das sonst allmählich eintretende Ranzigwerden des Keimlingfettes ausgeschlossen ist. Die Fettverwertung will ich hier nicht weiter behandeln, nur auf die entfetteten Keimlinge als Nährmittel mag das Augenmerk gelenkt werden. Das Rohmaterial der Maiskeimlinge stellt ein weißliches gelbes Pulver dar, in dem man deutlich die Maisschalen mit bloßem Auge erkennen kann. Roggen- und Weizenkeimlinge sind ein braunes, flockiges Mehl ohne besonderen Geruch oder störenden Geschmack. Derartige Produkte sind seit einigen Jahren bekannt und auch in den Handel eingeführt

worden. Solche Gemenge sind reich an Eiweißstoffen, darunter auch Nukleinsäuren (Tritikonukleinsäure, Osbornes und Harris'[1]) und Umsetzungsprodukten des Eiweißes (Asparagin, Glutamin, Cholin, Betain usw.); die Menge des Ätherextraktes ist erheblich, neben Neutralfetten sind Lipoide vorhanden. Auch findet sich die in der Weizenkleie von Posternak nachgewiesene Anhydro-Oxymethylenphosphorsäure[2], die in Inosit und Phosphorsäure zerfällt. Fettspaltende Fermente finden sich gleichfalls, sie sind es, die zum Verderben des Kornes beitragen können, indem sie auf die Fette zur Wirkung kommen.

Für die Verwendung des Keimlingsmehles scheint sich zuerst Chevalier auf dem 2. Kongreß für Ernährungslehre zu Lüttich 1911 ausgesprochen zu haben. Als Zusammensetzung wurde folgende angeführt:

100 Teile lufttrocken geben:

Wasser	11·5
Eiweiß	38·54
Cholesterin	0·44
Lezithin	1·55
Fett	12·50
Raffinose, Glukose, Saccharose	24·35
Zellulose	1·71
Asche	4·82

Boruttau gibt für das von der Vollkornbrotfirma Klopfer in den Handel gebrachte Präparat Materna[3] 36 Prozent Eiweiß, 28 Prozent lösliche Kohlehydrate und 4·3 Prozent Asche an. Nach Aimé Girard sollen von der Trockensubstanz 46·4 Prozent wasserlöslich sein. Weniger günstig fand ich die Maiskeimlinge zusammengesetzt.

Nach meinen Untersuchungen fand ich:

	Für Weizenkleie nach meiner Analyse	Für Maiskeimlinge
Asche	7·26	2·77
Organisches	92·74	97·23
Rohprotein	11·87	13·50
Fett	2·11	3·72
Zellmembran	34·97	32·17
Stärke	43·97	47·50

[1] *Zeitschr. f. phys. Chem.* 1900. Bd. II. S. 36.

[2] *Compt. rend. de l'Acad. d. Sc.* 1903. Bd. CXXXVII.

[3] *Zeitschr. f. phys. und diätet. Therapie.* 1912. S. 3.

In 100 Teilen Zellmembran der Maiskleie waren:

Zellulose	28·51 Prozent
Pentosan	40·58 ,,
Rest	30·91 ,,

Letztere erinnert also an die Zellmembran der Weizenkleie, der Maiskeimling ist sehr aschearm. Nach diesen Ergebnissen kann angenommen werden, daß die Trennung der Keimlinge unvollkommen war und diese Sorten von entfetteten Maiskeimlingen nur der Weizenkleie im Nährwert gleichzustellen sind.

Gewöhnlich gibt man für die Futterkleie in 100 Teilen an:

7·86	Prozent	Asche,
16·29	,,	Rohprotein,
4·78	,,	Fett,
71·07	,,	N-freie Extrakte + Zellulose.

Weitere Ernährungsversuche mit derartig wenig reinem Material lohnten nicht.

Wenn man sich die Technik der Keimlingsabscheidung ins Gedächtnis ruft, d. h. ein Rollen der Körner zwischen rotierenden Flächen, deren Abstand größer ist als der kleinste Durchmesser des Kornes und kleiner als der größte Durchmesser, so begreift man, daß bei Mais sehr leicht viel von den Membranen der Schalen abgesprengt wird. Günstiger ist die Sache bei der elliptisch ausgeprägten Form des Roggens und Weizens. Den guten Effekt der Darstellung kann man ohne weiteres aus dem N-Gehalt der Produkte oder aus seinem Zellmembrangehalt ersehen. Da mir neuerdings solche zellmembranarme Produkte geliefert wurden, habe ich es unternommen, mit ihnen Versuche über die Verdaulichkeit zunächst am Hunde auszuführen.

a) Versuch mit Roggenkeimlingen.

Die Versuchsanordnung bestand in der Beimischung von je 70 g lufttrocknen Keimlingsmehlen zu 1000 g Fleisch täglich, nach drei Tagen wurde der Versuch abgeschlossen. Irgendeine auffällige Erscheinung wurde nicht wahrgenommen, die Ausscheidungen glichen dem Fleischkot.

Fütterung und Ausscheidung ergeben sich aus folgenden Tabellen (siehe Tabellen Seite 126):

Das Gesamtresultat muß als ein sehr günstiges bezeichnet werden, denn die Menge der organischen Bestandteile der Ausscheidungen war außergewöhnlich gering. Die Keimlinge waren übrigens nur schwach entfettet.

Zusammensetzung der Roggenkeimlinge.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 64·6 g pro Tag
Asche	6·76	4·4
Organisches	93·24	60·2
Gesamtpentosan	7·33	4·73
Zellmembran	7·98 mit 2·55 g Pent.	5·15 mit 1·65 Pent.
Zellulose	3·13	2·02
Restsubstanz	2·31	1·48
N	6·57 = 41·05 Protein	4·26 = 26·62 Protein
Fett	14·44	9·3
Kalorien	487·8	315·1

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	39·22
Pentosan	32·02
Rest	28·76

Zusammensetzung der Ausscheidungen.

	In 100 Teilen Trockensubstanz des Kotes	In 16·1 g trocknen Kotes pro Tag
Asche	28·0	4·5
Organisches	72·0	11·6
Gesamtpentosan	6·86	1·10
Zellmembran	10·28 mit 3·58 Pent.	1·65 mit 0·57 g Pent.
Zellulose	5·97	0·96
Restsubstanz	0·73	0·12
N	6·50	1·15
Fett	3·30	0·53
Kalorien	411·4	66·2

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	58·07
Pentosan	33·15
Rest	8·78

Wenn man den Gesamtverlust nach Kalorien darstellt, so wäre ein solcher überhaupt nicht vorhanden, da im Kote bei Fleischkost an sich schon 67·7 Kal. ausgeschieden wurden, hier aber nur 66·2 Kal. gefunden wurden, das besagt, daß die Verluste innerhalb der zufälligen Schwankungen der Kotausscheidung bei alleiniger Fleischkost liegen. Die Zellmembranbestimmung lehrt jedoch, daß wirklich noch ein geringer Verlust

vorhanden war. Ich füge daher diese Ergebnisse hier unmittelbar bei, weil ja über die Größe der Zellmembranbestandteile direkte Angaben zu machen sind:

Es beträgt der Verlust:

an Gesamtpentosen	20·50
„ Zellmembran	32·23
„ Zellulose	47.52
„ Pentosan der Zellmembran	34·41
„ Restusbstanz	8·18
„ freier Pentose	12·98

Als Pentoseanteil des Fleischkots wurde 0·13 g pro Tag abgezogen. Die Verdaulichkeit der Zellmembran ist demnach günstig und was besonders auffällt, es ist recht viel Zellulose aufgelöst worden, besonders stark wurde die Restsubstanz, d.h. die Gruppe, welche die Lignine einschließt, resorbiert. Auch Pentosane sind natürlich reichlich aufgelöst, weil ja viel von der Zellmembran zerstört wurde. Von diesem Pentosan blieben aber gewisse Mengen unresorbiert liegen, wohl deshalb, weil sie erst im Dickdarm durch Verdauung der Zellmembran frei werden. Dies gibt folgendes Ergebnis: Offenbar handelt es sich bei der Verdauung um die Trennung zweier Sorten von Zellmembran, um jene der Keimlinge selbst und um die Beimischung eines Kleieanteils, den man ja auch mikroskopisch sieht. Ein Ausbrechen des Keimlings ohne alle Verletzung der Kleberzellenschicht ist nicht möglich. Diese Kleberzellen behalten hartnäckig ihren N. Auch wenn die Zellmembran weiter zerrieben und mit Pankreatin verdaut wird, finden sich hier pro Tag 0·22 N als Rest des Kleieeiweißes. Analog für die Zufuhr berechnet waren von solchem Kleberzellenstickstoff pro Tag 0·35 g vorhanden, so daß der Verlust 62·36 Prozent beträgt, wenn aller in Zellmembranen austretende N nur Kleieeiweiß war, was sich nicht bestimmt sagen läßt.

Die 0·22 g N gehen also auch von der Gesamt-N-Ausscheidung von 1·05 ab, wonach 0·83 g N für Stoffwechselprodukte des Fleischkotes übrig bleiben, ein Wert, wie ich ihn mehrfach gefunden habe; allerdings bewegt sich die N-Ausscheidung bis 1·0 g, doch liegen solche Schwankungen in den Fehlergrenzen, zumal auch jetzt das Fleisch nicht immer von gleicher Beschaffenheit ist. Man wird also sagen dürfen, daß das eigentliche Embryonalgewebe, was den N anlangt, wie die Teile, welche nicht der Zellmembran angehören, restlos resorbiert worden sind. Die im Kot hinterbliebene Zellmembran dürfte vermutlich nur von der beigemengten Kleiezellmembran stammen, mit der sie sehr nahe übereinstimmt. Die geringen Mengen Zellmembran haben einen nachteiligen Einfluß auf die Resorption der übrigen Nährstoffe nicht ausgeübt.

b) Weizenkeimlinge.

Aus den Weizenkeimlingen lassen sich durch warmes Wasser und nachträgliche Extraktion mit Alkohol 40·2 Prozent Substanz ausziehen. Darunter 28·9 Prozent des N, lösliche Eiweißstoffe und N-haltige Spaltprodukte. Autolysiert man das Mehl bei 37° einen Tag lang, so werden 47·2 Prozent der Masse gelöst und 47·2 Prozent des N, bei weiterer Autolyse nicht mehr. Das Filtrat ist sehr reich an Phosphorsäure (auch stark saure Reaktion), wohl zum Teil durch Spaltung der phosphorsäurehaltigen organischen Verbindungen. Im Verlauf des Versuches unterschieden sich die Weizenkeimlinge in nichts von den Roggenkeimlingen, doch war ihre Zusammensetzung wegen des höheren Zellmembrangehaltes weniger günstig als Nährmittel. Das weitere ergibt sich aus nachfolgender Tabelle.

Zusammensetzung des Weizenkeimlings.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 61·8 g pro Tag
Asche	5·09	3·14
Organisches	94·91	58·70
Gesamtpentosan	10·29	6·36
Zellmembran	17·42 mit 8·34 Pent.	10·76 mit 5·14 g Pent.
Zellulose	4·71	2·91
Restsubstanz	4·37	2·70
N	4·13 = 25·80 Protein	2·55 = 15·93 Protein
Fett	6·01	3·71
Kalorien	479·5	296·3

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	27·04
Pentosan	47·82
Rest	25·14

Zusammensetzung der Ausscheidungen.

	In 100 Teilen Trockensubstanz des Kotes	In 29·6 g Kot pro Tag
Asche	24·72	7·3
Organisches	75·28	22·3
Gesamtpentosan	10·97	3·25
Zellmembran	22·77 mit 6·60 Pent.	8·58 mit 1·94 Pent.
Zellulose	9·88	2·92
Restsubstanz	6·29	1·86
N	5·43	1·62
Fett	3·15	0·93
Kalorien	387·0	114·6

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	34·07
Pentosan	28·99
Rest	36·94

Ich betrachte den hohen Gehalt des Weizenkeimlings an Zellmembran nur als einen vorläufigen Mangel der Technik der Auslese des Keimlings, Roggen- und Weizenkeimlinge wurden in verschiedenen Mühlen hergestellt; der hohe Kleiegehalt kündigt sich auch schon durch den hohen Pentosan gehalt der Weizenkeimlinge überhaupt an. Wie die mikroskopische Untersuchung gezeigt hatte, waren ziemlich viel Kleiezellen (Kleberzellen) vor handen, diese sind sehr reich an Pentosan. 81·8 Prozent des letzteren waren in der Zellmembran vorhanden. Der Zellmembrangehalt von 17·42 Prozent der Trockensubstanz ist mehr als das Doppelte, als sich an Zellmembran etwa in Vollkornmehlen findet.

Die Zellmembran hat den Charakter der „Kleie", Armut an Zellulose, Reichtum an Pentosanen. Weitere Einzelheiten mögen im Anschluß an die Besprechung der Verdaulichkeit vorbehalten sein. Die entleerte Kotmenge steigt etwa auf das Doppelte wie jene im vorigen Versuch, etwa im selben Maße der Verlust

an Kalorien	114·6	pro Tag.
Zieht man davon die Kalorien des Fleischkotes	67·7	ab,
so bleiben als Rest	46·9	Kal.

übrig, welche aus Stoffwechselprodukten oder unverdauten Stoffen bestehen können. Das Ergebnis gibt uns ein ungefähres Bild. Die im Kot aufgefundenen Nahrungsreste und ihr Brennwert waren folgender:

8·58 g reine Zellmembran × 4·2	=	36·0 Kal.
1·18 g Pentosan × 3·9	=	4·6 „
3·63 g Protein × 5·8	=	21·0 „
	Summe	61·6 Kal.

diese von 114·6 Kal. abgezogen
61·6 „

bleiben 53·0 Kal. für Stoffwechselprodukte aus Fleisch, während im Mittel 67·7 Kal. gefunden wurden. In Wirklichkeit ist der Unterschied sehr unbedeutend, wenn man ihn in g Kotmenge ausdrückt und fällt innerhalb der üblichen Versuchsfehler. Sicher bewiesen ist, daß eine Steigerung der Stoffwechselprodukte nicht eingetreten ist. Wenn das der Fall ist, so sind die eigentlich nährenden Bestandteile der Weizenkeimlinge so gut wie restlos resorbiert worden. Beseitigt man also die Kleieanteile in Zukunft

besser, so steht der Weizenkeimling an Wert dem Roggenkeimling nicht nach.

Der N-Verlust bei nur 2·55 g in der Zufuhr ist bei der Kleinheit der Zahlen schwierig zu beurteilen, er darf nicht unmittelbar mit dem N-Verlust des Kotes verglichen werden, weil ja letzterer schon in Stoffwechselprodukten allein etwa 1·03 g N zu enthalten pflegt. Die Einfuhr selbst bestand aus dem Protein des Keimlings und dem N der Kleiezellen. Nehme ich für die Menge des N, der in der Zellmembran enthalten war, an, daß 100 g Keimlinge 0·356 g Kleiezellen-N enthielt und gleichfalls nach der Analyse des Kotes in 100 Teilen 1·91 g N derselben Quelle, so wird die Einfuhr 0·230 g N, die Ausfuhr war etwa 0·55 g N, woraus hervorgeht, daß von den Eiweißstoffen der Keimlinge selbst ein kleiner Teil mit den reichlichen Zellmembranen des Kotes als unlöslich abgeschieden wurde. Nimmt man den N des Kleieeiweißes als nahezu unverdaulich an, so würde der Verlust der Keimlinge an N rund 13·8 Prozent gewesen sein. An anderer Stelle wird hierüber noch näheres mitgeteilt werden. Man könnte auch damit rechnen müssen, daß Embryozellen an gröberen Kleiestückchen hängen bleiben und so der Resorption entzogen werden. Die Roggenkeimlinge wurden ohne Verlust resorbiert, offenbar, weil sie ein reineres zellmembranärmeres Präparat darstellen.

Die Zellmembranen sind hier als Verunreinigung zu betrachten, es hat aber Interesse, ihre Verdaulichkeit näher zu verfolgen, da es sich um Kleieteile handelt, die schon mehrfach unter verschiedenen Umständen auf ihre Resorption geprüft worden sind. Die Zusammensetzung der Ein- und Ausfuhr läßt die gewohnte Beobachtung machen, daß die Zellulose sich ungünstig verhalten hat, während andere Teile der Zellmembran besser gelöst werden.

Der Verlust beträgt:

	bei Weizenkeimlingen Prozent	bei Roggenkeimlingen Prozent
An Gesamtpentosen	49·06	20·50
„ Zellmembran	79·74	32·23
„ Zellulose	100·0	47·52
„ Pentosan in der Zellmembran	37·97	34·41
„ Restsubstanz	29·57	8·18
„ freier Pentose	—	12·98

Die Zellmembran blieb also ziemlich unverdaut liegen, die Zellulose unberührt, die Pentosane wurden gut, die Restsubstanz noch besser resorbiert. Die aus der Zellmembran gelösten Pentosane blieben ungelöst im Darm, daher die auffällige Erscheinung, daß am Schluß nach der Verdauung mehr freie Pentosane vorhanden sind wie in der Zufuhr. Im Vergleich zu

der Roggenkeimlingzellmembranen sind hier bei dem Weizenpräparat die Verhältnisse ungünstig. Kleiezellen sind auch beim Hund sonst recht gut resorbiert worden; aus welchen Gründen hier die Verdauung ziemlich versagte, ist eine Frage, auf die man auf diesem Gebiete recht häufig und auch beim Menschen stößt, ohne sie vorläufig restlos entscheiden zu können.

Beide Versuchsreihen lassen erkennen, daß der Keimling ein gut verdauliches Nährmaterial ist, das mit der Kleie nicht etwa in Vergleich gestellt werden darf. Die gute Resorbierbarkeit beruht offenbar auf den feinen Zellmembranen des Embryos, alle anderen Zellmembranen müssen so weit als möglich ausgeschlossen werden, damit nicht durch diese fremde Beimischung ein ungünstiger Effekt auf die Verdaulichkeit der Keimlinge ausgeübt wird. Die Menge der zu gewinnenden Keimlinge wird man nicht auf höher als 1·5 Prozent des Gesamtkornes nach den bisherigen günstigsten Resultaten annehmen dürfen. Trotzdem ist die Entkeimung ein volkswirtschaftlich wichtiger Prozeß, da die Ölgewinnung zu einem neuen wertvollen Produkt aus der Brotfrucht wird — ohne diese im Nährwert zu mindern — und der Keimling ein natürliches Eiweißpulver von leichter Resorbierbarkeit darstellt. Man darf wohl damit rechnen, daß sich diese Betriebe auch in die Friedenszeit hinüber erhalten werden.

Die Verdaulichkeit von Spinat beim Säugling.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Nachdem in den vorhergehenden Publikationen die Verdaulichkeit des Brotgetreides und die Einfuhr der verschiedenen in diesen vorkommenden Zellmembranen experimentell nach neuen Versuchen und neuer Methodik dargelegt worden ist, gehe ich dazu über, in einigen Beispielen die Verdaulichkeit der Gemüse beim Menschen zu untersuchen. Denn das bisher über diese Fragen veröffentlichte Material gibt keinen klaren Einblick in die Verhältnisse. Es gibt, insoweit gerade die Schilderung des Verhaltens der Zellmembranen von Bedeutung ist, keinerlei Ausbeute, oder nur allenfalls ein paar Angaben über die Rohfaser. Die im Bd. XV dieser Zeitschrift angegebenen Analysen der Blatt- und Wurzelgemüse haben dargetan, daß wir auf diesem Gebiete es mit Nahrungsmitteln mit reichlicher Entwicklung der Zellmembranen zu tun haben. Gerade unter den Blattgemüsen sind einzelne Nahrungsmittel, deren hoher Zellmembrangehalt auffällt. Durch den hohen Zellmembrangehalt erfahren die Angaben der bisherigen Analysen, insoweit der N-freie Extrakt in Betracht kommt, der zumeist in der Nahrungsstoffberechnung als Kohlehydrat aufgeführt wurde, eine sehr erhebliche Veränderung. Wenn z. B. für Spinat ein Gehalt von nicht weniger als 33·55 Prozent N-freier Extrakt angenommen wurde, so reduziert sich diese Größe nach meienn Untersuchungen auf 13·5 Prozent, also um 20 Prozent geringer, so daß der Charakter mancher Nahrungsmittel als kohlehydratreicher Gemenge sich vollkommen ändert und die Ernährungszwecke einer solchen Substanz ganz andere werden.

Neben diesen Besonderheiten haben wir dann noch den Preßsaft bei Blatt- und Wurzelgemüsen als ein wichtiges Moment für den Ernährungsvorgang zu betrachten, die weichen Zellen werden leicht so weit zerkleinert, daß dieser Saft unmittelbar zur Resorption kommen kann, zumeist ist die Menge des Preßsaftes eine sehr bedeutende.

Die Bedeutung der Gemüse als Volksnahrungsmittel wird ungeheuer überschätzt. Nicht nur nach der Richtung des Gesamterträgnisses, das überhaupt zurzeit bei größter Steigerung des verfügbaren Kulturlandes zu erreichen ist, als auch hinsichtlich der Möglichkeit des dauernden Genusses von Gemüsen und der Größe der dadurch zu gewinnenden Nahrungsmengen. In Artikeln wurden von Personen, die offenbar nicht die geringste Ahnung von Ernährungsvorgängen haben, bald von einem „Ersatz“ fehlender Kartoffeln oder mangelnden Fleisches durch Gemüse, wie von einer wohl begründeten und selbstverständlichen Sache gesprochen.

Unter den Blattgemüsen ist, wenn man von den Kohlarten absieht, der Spinat ein viel verzehrtes Nahrungsmittel, wennschon die Gewichtsmenge der verzehrten Masse im ganzen Nahrungshaushalt keine erhebliche Bedeutung hat. Für einen reinen Ausnützungsversuch eignet sich der Spinat absolut nicht. Bei alleiniger Verabreichung größerer Nahrungsmengen widerstehen die aus Spinat bereiteten Speisen sehr leicht. Ich habe weder an mir selbst, noch an anderen Personen eine für einen Ausnützungsversuch ausreichende Beköstigung erreichen können, obschon es mehrfach versucht wurde. Immerhin wäre es von Interesse, wenigstens Näheres über die Verdaulichkeit der Zellmembran des Spinats auch beim Menschen zu erfahren; über die beim Hunde geben die in Jahrg. 1915 dieser Zeitschrift enthaltenen Untersuchungen Aufschluß. Wider Erwarten verdaute der Hund von diesen Zellmembranen, die in der Literatur als besonders „leicht“ verdaulich aufgeführt werden, kaum mehr als vom Birkenholzschliff und weit weniger als von der Kleie. Um in dieser Hinsicht beim Menschen Sicheres zu erfahren, war ein Experiment nötig.

Ich habe daher einen anderen Weg versucht. Es ist bekannt, daß ja manche Pädiater neben Milch Gemüsedarreichungen geben.[1] Der Spinat eignet sich als Zusatz, sei es, daß er fein verkocht ist oder aus getrockneter gepulverter Ware besteht. Prof. Langstein hatte die Freundlichkeit, bei gebotener Gelegenheit mir das Material zweier solcher Spinatreihen bei Kindern zur Analyse zuzustellen, wofür ich ihm an dieser Stelle bestens danke.

Die Versuchsanordnung ergibt sich kurz aus folgendem:

Die Versuche wurden an 2 Kindern im Alter von 7 bzw. $6\frac{1}{2}$ Monaten ausgeführt. Die Kinder wurden bis zum Versuche ernährt mit $\frac{2}{3}$ Milch + 5 Prozent Rohrzucker + Schleim und bekamen außerdem einmal am

[1] Auf diese allgemeinen Fragen der Verabreichung von Gemüsen an Kinder gehe ich in nachfolgendem nicht ein.

Tage: Brühgrieß, Kartoffelbrei, Gemüse und Kompott. Die Versuche zerfielen in 2 Perioden zu je 4 Tagen.

I. Periode: $^2/_3$ Milch + 5 Prozent Rohrz. + 20 g pro die Spinatpulver nach Friedenthal (5mal zu 4 g Spinat in der Flasche).

II. Periode: $^2/_3$ Milch + 5 Prozent Rohrz. + 300 g pro die Spinat (5 mal zu 60 g in der Flasche) (Büchsenspinat, 6·4 Prozent Trockensubstanz).

Zwischen die beiden Perioden wurde eine 4tägige Pause eingeschaltet. In diesen 4 Tagen bekamen die Kinder weiter $^2/_3$ Milch und 5 Prozent Rohrzucker. Die Abgrenzung des Kotes war durch die Farbe des Spinates gegeben. Die für die Versuche nötige Milch wurde in großer Menge auf einmal zubereitet, auf Flaschen gefüllt, sterilisiert und im Kühlkeller gehalten. Die Kinder waren gesund, munter, gewöhnten sich nach anfänglichem Sträuben sehr rasch an die Nahrung und tranken fast restlos Milch und Spinatpulver bzw. Spinat aus. Temperatur normal, mit Ausnahme einiger Tage, an welchem eins der Kinder einen Schnupfen hatte und eine geringe Temperaturerhöhung aufwies.

300 ccm $^2/_3$ Milch und 5 Prozent Rohrzucker lieferten 39 g Trockensubstanz. Büchsenspinat: 15·34 g ließen 0·97 g Trockensubstanz, d. h. 6·4 Prozent. Der Kot reagierte meistens sauer; wenn er alkalisch war, wurde beim Eindampfen bzw. vor demselben mit einigen Tropfen sehr verdünnter Schwefelsäure angesäuert.

Von den 39 g Trockensubstanz pro Tag müssen mindestens 15 g Rohrzucker gewesen sein, andererseits 24 Teile Milchtrockensubstanz, d. h. 38·5 Prozent Zuckerzusatz der Trockensubstanz.

Die Übersicht über die Ausführung der Experimente gibt folgende Zusammenstellung:

Kind I (Belair).

I. Per. Endgewicht . . . 4730 g
Anfangsgewicht . 4600 g
130 g = 32 g Gewichtszunahme pro die.

1. Tag 893·3 g
2. ,, 942·8 g
3. ,, 1002·5 g
4. ,, 938·3 g

3777 g, $^2/_3$ Milch + 5 Proz. Rohrz. + 80 g Spinatpulver.

Kot feucht . . . . . 334 g
,, trocken . . . . . 51·9 g

II. Per. Endgewicht . . . 4830 g
Anfangsgewicht . 4710 g
120 g = 30 g Gewichtszunahme pro die.

1. Tag 483·8 g
2. „ 755·0 g
3. „ 1014·8 g
4. „ 993·8 g
3247·4 g, $^2/_3$ Milch + 5 Proz. Rohrz. + 1200 g Spinat.

Kot feucht . . . . . 162·6 g
„ trocken . . . . . 45·9 g

Kind II (Hähnel).

I. Per. Endgewicht . . . 5860 g
Anfangsgewicht . 5800 g
60 g = 15 g Zunahme pro die.

1. Tag 1117·8 g
2. „ 983·0 g
3. „ 1049·4 g
4. „ 987·2 g
4131·4 g, $^2/_3$ Milch + 5 Proz. Rohrz. + 80 g Spinatpulver.

Kot feucht . . . . . 439·6 g
„ trocken . . . . . 67·2 g

II. Per. Endgewicht . . . 5730 g
Anfangsgewicht . 5670 g
60 g = 15 g Zunahme pro die.

1. Tag 754·2 g
2. „ 1042·4 g
3. „ 1045·1 g
4. „ 1064·6 g
3846·3 g, $^2/_3$ Milch + 5 Proz. Rohrz. + 1200 g Spinat.

Kot feucht . . . . . 365·9 g
„ trocken . . . . . 65·4 g

Die Untersuchung der Nahrung ergab folgende Resultate. Das mir übergebene Milchzuckergemisch enthielt

in 100 Teilen Trockensubstanz:

3·75 Asche
96·25 Organisches
2·45 N
11·56 Fett
1·41 Pentosen
447·5 kg-cal.

Berücksichtigt man, daß 38·5 Prozent hiervon Rohrzucker sind, so war die verwendete Milch fettarm. Die restierenden 61·5 g enthielten nur 11·56 g, 100 Trockenmilch also rund 18·95, während man meist für die Stadtmilch 21 bis 26 Prozent findet. Auch der N-Gehalt entspricht (3·98 Prozent der Trockensubstanz) den sonst als niedrig gefundenen Werten. 1 g der Trockensubstanz dieser Milch selbst wird etwa 4·797 kg-cal. entsprochen haben, ich habe für gehaltvollere Kuhmilch 5·613 und für entfettete 4·427 kg-cal. gefunden.[1]

Bei günstiger Verwertung habe ich bei Milch einen Verlust der eingeführten Kalorien von 5·07 Prozent für den Erwachsenen gefunden[2], genau den gleichen Wert erhielt ich beim Säugling[3], wenn er mit Kuhmilch (unter Zusatz von Zucker) ernährt wird.

Mit Bezug auf die Milchrohrzuckermischung kann man die Nahrung als eine gut resorbierbare bezeichnen.

Die zweite Komponente der Kost bestand aus einer Zugabe von Spinat.

Die beiden Spinatproben waren von verschiedenem Aussehen. Das Spinatpulver (Friedenthal) war weniger grün als der Büchsenspinat. Die ungleiche Farbe trat noch mehr in den alkoholischen Auszügen hervor. Der Büchsenspinat lieferte ein mehr spangrünes Extrakt. Die Zusammensetzung der beiden Proben war für 100 Teile Trockensubstanz:

	Spinatpulver	Büchsenspinat
Asche	18·4	23·53
Organisches	81·6	76·47
Pentosen	8·45	8·04
N	4·94	4·28
Rohprotein	30·87	26·44
Reinzellulose	9·20	11·36
Zellmembran	19·89	22·77
Pentosan in der Zellmembran	4·07	4·80
Restsubstanz	6·62	6·61
Fett	3·97	4·88
Verbrennungswärme	366·4 kg-cal.	336·6 kg-cal.

Beide Proben enthielten etwas Sand, im übrigen unterschieden sie sich in der Zellmembran.

---

[1] Näheres s. *Zeitschr. für Biologie.* 1898. Bd. XXXVI. S. 63.

[2] *Ebenda* S. 75.

[3] *Ebenda* Bd. XXXVIII. S. 344. Wenn man die hier gegebenen Grundzahlen ausrechnet, so kommt man auf den eben angeführten Wert.

Für aschefreien Spinat fand ich früher 31·8 Prozent Zellmembran
es berechnet sich für Spinatpulver (fr.) 24·3 ,, ,,
und für den Büchsenspinat 34·5 ,, ,,

Es ist nicht recht erklärlich, warum das Spinatpulver so erheblich weniger Zellmembran besitzt, in der Verbrennungswärme stimmen beide Spinatsorten fast völlig überein wenn man auf die organische Substanz rechnet:

1 g Spinatpulver liefert 4·490 Kal.
1 g Büchsenspinat 4·400 ,,

Was die gesamte Nahrungseinnahme der beiden Versuchskinder anlangt, so ergibt sich dieselbe aus folgendem:

Übersicht über die Einnahme an Milch und Zucker allein.

Reihe mit Beifügung von	Kind Belair				Kind Hähnel			
	4 Tage		Pro Tag		4 Tage		Pro Tag	
	Trockensubstanz	Kal.	Trockensubstanz	Kal.	Trockensubstanz	Kal.	Trockensubstanz	Kal.
Spinatpulver	491	2197·2	122·7	549·3	537	2403·5	134·2	608·7
Büchsenspinat	422	1888·3	105·5	472·3	500	2237·5	125·0	559·3

Für die tägliche Aufnahme an Spinat ergibt sich in Gramm:

	bei Spinatpulver	bei Büchsenspinat
Trockensubstanz	18·75	19·26
Asche	3·45	4·52
Organisches	15·30	14·68
Pentosen	1·58	1·54
N	0·93	0·82
Rohprotein	5·81	5·12
Reinzellulose	1·72	2·13
Zellmembran	3·72	4·37
Darin Pentosan	0·76	0·92
Restsubstanz	1·24	1·32
Fett	0·74	0·93
Verbrennungswärme	68·4 Kal.	64·6 Kal.

Die täglich eingenommene gesamte Trockensubstanz betrug bei Kind Belair

bei Spinatpulver 141·4 g
,, Büchsenspinat 124·7 ,,

bei Kind Hähnel

bei Spinatpulver	152·9 g
„ Büchsenspinat	144·2 „

Für die wesentlichen Bestandteile ergibt sich dann noch als tägliche Gesamtzufuhr:

Kind	Nahrungszusatz	Milch				Spinat				Zusammen			
		Kal.	N	Fett	Asche	Kal.	N	Zell-membran	Asche	Kal.	N	Zell-membran	Asche
Belair	Spinatpulver	549·3	3·00	14·2	4·6	68·4	0·93	3·72	3·45	617·7	3·93	3·72	8·0
	Büchsenspinat	472·3	2·58	12·6	4·1	64·6	0·82	4·37	4·52	536·9	3·40	4·37	8·6
Hähnel	Spinatpulver	608·7	3·29	15·6	5·0	68·3	0·93	3·72	3·45	677·1	4·22	3·72	8·4
	Büchsenspinat	559·7	3·06	14·5	4·7	64·6	0·82	4·37	4·52	623·9	3·90	4·37	9·2

Kind Belair erhielt bei 4·8 Kilo Gew. im Mittel 577·3 Kal. Brutto p. Kilo 120·2 Kal.
„ Hähnel „ „ 5·8 „ „ „ „ 650·0 „ „ „ 112·0 „

Dabei ist beim Eiweiß nicht berücksichtigt, daß ein Abzug für den Verlust an Energiewert durch den Brennwert des Harnes und durch die Stoffwechselprodukte des Kotes gegeben ist. Darüber wird später das Nähere zu besprechen sein.

Über die aus Milch und Spinat gemischte Kost ist noch folgendes Bemerkenswerte anzufügen:

Im Spinat waren bei Kind Belair 11·53 Prozent der Gesamtkalorien enthalten, bei Kind Hähnel 10·22 Prozent, wenn man die unmittelbar gewonnenen Verbrennungswerte zur Berechnung nimmt. Wenn der Spinat etwa analog nebenbei zur Deckung der Nährstoffe bei einem Arbeiter (3000 Kal. pro Tag) in Mengen zu $^1/_{10}$ des Nahrungsbedarfes verwendet werden sollte, beträgt die Menge 1212 g frischen Spinat. Für ein Gemüse betrachtet, ist also der Spinatzusatz bei den Kindern relativ schon ein beträchtlicher gewesen, bei freier Wahl der Kost wird beim Erwachsenen kaum diese Höhe erreicht werden; um gedörrten Spinat zu verzehren, fehlt es in der Kost der Erwachsenen in der Regel an entsprechenden Speisen, denen das Pulver als Zusatz beigefügt werden könnte. Die Aschemenge der Kost der Kinder wurde durch den Spinatzusatz zum Teil auf das Doppelte gebracht, doch war ein nicht ganz kleiner Teil dieser „Asche“ nur Sand, herrührend von ungenügender Reinigung des Spinates vor dem Trocknen.

Der Spinat ist das N-reichste Gemüse, bei der großen Menge von verzehrtem Spinat war bei dem Kinde Belair aber doch nur 23·9 Prozent, bei dem Kinde Hähnel nur 21·5 Prozent der ganzen N-Zufuhr mit Spinat

zu decken, wenn man vorläufig den Grad der Verdaulichkeit ganz außer Betracht läßt.

Nach meinen Bestimmungen findet sich 82 Prozent vom Gesamt-N des Spinates in Protein-N, so daß also an sich der ganz überwiegende Teil des vegetabilischen N, Protein-N ist. Die zugeführte N-Menge war, wie es für Kinder die Regel ist, nicht bedeutend, aber doch erheblich höher, als sie bei Brustkindern zu sein pflegt, die sich nach meinen und Heubners Beobachtungen bekanntlich nahe dem Eiweißminimum, d. h. der Abnützungsquote halten. Da es von Interesse ist, diese relative Größe der Eiweißzufuhr kennen zu lernen, so läßt sich folgende Betrachtung anstellen. Berechnet man die physiologischen Verbrennungswerte der eingeführten Milch, also den Bruttowert, vermindert um den Brennwert des Harnes und des Kotstoffwechselanteils, so sind für 1 g N 7·83 Kal. abzuziehen.

Der Milchanteil der Milch-Rohrzuckermischung läßt sich aus den obigen Daten zu 4·797 kg-cal. angeben, davon die Abfallprodukte abgezogen, gibt pro 1 g Trockenmilch 4·485.

Die Mischmilch = 61·5 Teile Milch liefert also	2·758 kg-cal.	
38·5 „ Rohrzucker	1·525 „	
	4·283 kg-cal. im ganzen.	

Der physiologisch nutzbare Teil des Spinates liefert bei dem Spinatpulver = 366·4 Kal. und 4·94 g N, von letzteren Protein 4·05 und 0·89 Amid usw. N. Für den Protein-N rechne ich 7·83 Kal. als Abfallstoffe, für den Amid-N 33·1, dann hat man

ab 31·8 für Protein	366·4
+ 29·4 für Amid-N	
61·2	61·2
	bleibt: 305·2 kg-cal.

Analog für den Büchsenspinat 336·6 Bruttokalorien mit 4·28 g N = 3·51 Protein N = 0·77 Amid-N,

	also	336·6
ab für Protein	27·5	
ab für Amid-N	25·4	
	52·9	52·9
	bleibt:	283·7 kg-cal.

Für das Kind Belair ergibt sich

bei Spinatpulver 515·4 + 57·2 = 572·6 kg-cal..
bei Büchsenspinat 451·8 + 54·5 = 506·3 „

Bei Kind Hähnel

bei Spinatpulver	547·7 + 57·2 = 631·9 kg-cal.
bei Büchsenspinat	535·3 + 54·5 = 589·8 „

Daraus folgt, daß bei Kind Belair die Kost im Mittel 17·4 Eiweißkalorien enthielt, bei Kind Hähnel 17·03 Eiweißkalorien.

In Untersuchungen mit O. Heubner habe ich zuerst nachgewiesen, daß das Normalkind bei der Brusternährung nahe der Grenze der Abnützungsquote in seinem Eiweißumsatz bleibt (5 Prozent Eiweißkalorien) bei einem atrophischen Kinde betrug der Eiweißanteil 11 Prozent, bei dem Kind mit Kuhmilchkost 15 bis 16 Prozent Eiweißkalorien, damit gehen die obigen Zahlen wieder überein.[1]

Kind Belair verbrauchte pro Tag 3·68, Kind Hähnel 4·06 g N, während das Minimum etwas mehr wie ein Viertel dieser Größe ausmacht.

Die Pentosenzufuhr in Milch und Spinat war folgende:

		Kind Belair				
Spinatpulver	1·73	Milch	1·58	Spinat	3·31	Summe
Büchsenspinat	1·49	„	1·54	„	3·03	„
		Kind Hähnel				
Spinatpulver	1·89	Milch	1·58	Spinat	3·47	Summe
Büchsenspinat	1·76	„	1·54	„	3·30	„

Die Ausscheidungen der Kinder sahen ungefähr so aus wie der gefütterte Spinat, es war also eine große Menge von Chlorophyll wieder ausgetreten.

Die Untersuchung der ausgeschiedenen Kote ergab folgendes Resultat:
Zusammensetzung des Kotes Kind Belair:

In 100 Teilen Trockensubstanz war:

	Spinatpulver	Büchsenspinat
Asche	18·77	19·69
Organisches	81·23	80·31
Pentosen	6·71	6·53
N	4·06	3·67
Reinzellulose	11·77	16·07
Zellmembran	23·39	20·55
Darin Pentosan	3·03	2·39
Restsubstanz	8·59	2·09
Fett	9·91	8·17
Verbrennungswärme	400·0 Kal.	445·0 Kal.

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXVIII. S. 393.

Die Kotsorten schienen daher im wesentlichen recht übereinstimmend zusammengesetzt, erheblich war die Menge der Zellmembran, die 23 bis 20 Prozent des aschehaltigen Kotes ausmacht.

Für den Tag wurde vom Kind Belair entleert in Gramm:

	bei Spinatpulver	bei Büchsenspinat
Trockensubstanz	12·97	11·47
Asche	2·43	2·26
Organisches	10·54	9·21
Pentosen	0·87	0·75
N	0·54	0·42
Reinzellulose	1·53	1·84
Zellmembran	3·03	2·36
Darin Pentosan	0·39	0·27
Restsubstanz	1·11	0·25
Fett	1·28	0·93
Verbrennungswärme	52·0 Kal.	51·2 Kal.

Die Analysen waren vielfach dadurch etwas erschwert, daß bei den vielen Einzelfeststellungen immerhin gespart werden mußte, doch sind fast überall Doppelanalysen möglich gewesen. Da es zweckmäßig sein wird, die Resultate bei den beiden Kindern gemeinsam zu besprechen, so reihe ich die Untersuchungen der Ausscheidungen des Kindes Hähnel noch hier an.

Zusammensetzung der Kotsorten für 100 Teile Trockensubstanz (Hähnel)

	bei Spinatpulver	bei Büchsenspinat
Asche	20·03	25·62
Organische Substanz	79·97	74·38
Pentosen	9·90	8·92
N	3·41	3·02
Reinzellulose	10·28	14·33
Zellmembran	22·18	23·63
Darin Pentosan	3·66	2·72
Restsubstanz	8·24	6·58
Fett	8·54	11·35
Verbrennungswärme	369·8 Kal.	369·1 Kal.

Für den Tag wurden vom Kind Hähnel entleert:

	bei Spinatpulver	bei Büchsenspinat
Trockensubstanz	16·77	16·35
Asche	3·36	4·19
Organisches	13·41	12·16
Pentosen	1·66	1·46
N	0·57	0·49
Reinzellulose	1·72	2·34
Zellmembran	3·72	3·86
Darin Pentosan	0·62	0·44
Restsubstanz	1·39	1·08
Fett	1·43	1·85
Verbrennungswärme	62·0 Kal.	60·34 Kal.

Aus diesen analytischen Ergebnissen läßt sich über die Verdauung der Spinatzellmembran und der Pentosen im allgemeinen folgendes schließen:

Zusammenstellung des Verlustes an Pentosen und Zellmembran:

Kind		Pentosen insgesamt	Zell-membran	Zellulose	Pentosan in Zellen	Lignine usw.
Belair	Spinatpulver	26·28	81·45	88·95	51·31	89·52
	Büchsenspinat	24·75	69·33	86·39	29·35	18·94
Hähnel	Spinatpulver	48·12	100·00	100·00	80·25	100·00
	Büchsenspinat	44·24	83·75	100·00	47·82	81·81

Nach den Untersuchungen, die ich über die Ausnützbarkeit der Spinatzellmembran beim Hunde gemacht habe, ist die letztere von mäßig guter Verdaulichkeit: 57·02 Prozent wurden verloren, dabei 70·33 Prozent der Zellulose, 56·0 Prozent der Lignine usw. Substanz und 31·63 Prozent der Pentosane der Zellmembran selbst.[1]

Die Verdaulichkeit des Spinates war für beide Präparate verschieden, das Spinatpulver war bei beiden Kindern weniger gut aufgenommen worden, ein Beweis, daß es auf die feinste Zermahlung bei Spinat überhaupt nicht ankommt, auch ohne diese verläuft die Resorption innerhalb der von der Natur überhaupt gestellten Grenzen. Am besten verdaute Kind Belair und zwar den Büchsenspinat allerdings nicht so gut, wie der Hund die Spinatzellmembran ausnützt. Die Zellulose selbst bleibt schwer verdaulich, Pentosane und Lignine sind aber weitgehend aus der Zellmembran aus-

[1] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 263.

gezogen worden. Wesentlich schlechter ist schon die Ausnützung bei dem Spinatpulver gewesen, zwar werden die Pentosane noch gut angegriffen, Zellulose und Lignine sind nur unvollkommen gelöst. Kind Hähnel nahm im Spinatpulver so gut wie nichts auf, nur die Pentosane sind etwas angegriffen worden.

Hier liegt aber ein gewisser Widerspruch in den Analysen, die Einnahme an Zellmembran war etwas geringer als der Verlust, ich kann daher nur annehmen, daß das verfütterte Material nicht ganz gleichartig gewesen ist; so daß in der Einnahme etwas mehr enthalten war, als ich berechne. Vom Büchsenspinat ist die Resorption etwas günstiger. Die Zellulose wird aber fast gar nicht angegriffen, wohl aber stark die Pentosane und in geringem Grade die Lignine usw.

Zweifellos liegt zwischen beiden Kindern ein Unterschied vor, das prägt sich auch wieder in der Resorption der Pentosane überhaupt aus.

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, daß die Resorption der Zellmembran offenbar weit mehr als die irgendeines anderen Nahrungsstoffes von anscheinend zufälligen Umständen abhängig ist, weil eben bakterielle Eingriffe dabei offenbar eine wesentliche Rolle spielen und diese von Momenten, die man nicht voraussehen kann, abhängig sind.

Die Zusammensetzung der Zellmembran in der Einfuhr und Ausfuhr war verschieden.

Die Zusammensetzung der Zellmembran des verabreichten Spinates ergab etwas mehr an Zellulose, als ich früher gefunden habe.

100 Teile enthielten:

	bei Spinatpulver	bei Büchsenspinat
Zellulose	46·23	49·74
Pentosan	20·43	21·06
Restsubstanz	33·34	29·20

Die Zellmembran der Kotsorten ergab pro 100 Teile:

	Bei Spinatpulver		Bei Büchsenspinat	
	Kind Belair	Kind Hähnel	Kind Belair	Kind Hähnel
Zellulose	50·32	46·35	78·19	60·64
Pentosan	12·95	16·50	11·63	11·51
Restsubstanz	36·73	37·15	10·18	27·85

Da die Resorption der einzelnen Komponenten der Zellmembran verschieden ist, so ordnet sich demgemäß auch die Zusammensetzung der Zellmembran aus Kot sehr verschieden.

Die Gesamtausnützung der ganzen Nahrung im Verhältnis zur gesamten Einfuhr war folgende:

Kind	Kost	Ausscheidung pro Tag			In Prozent der Einnahme verloren		
		Kal.	N g	Asche g	Kal.	N g	Asche g
Belair	Spinatpulver .	52·0	0·54	2·43	8·42	17·64	30·37
	Büchsenspinat	51·2	0·32	2·26	9·53	12·16	26·28
Hähnel	Spinatpulver .	62·0	0·57	3·36	9·16	17·48	40·00
	Büchsenspinat	60·3	0·49	4·19	9·63	16·68	45·54

Betrachtet man die Menge der ausgeschiedenen Kalorien, so bleibt in beiden Fällen ein geringes Maß besserer Ausnützung zugunsten des Spinatpulvers, obschon gerade dieses sich hinsichtlich der Verdauung der Zellmembran weniger gut gestellt hat, die Eiweißresorption aber war umgekehrt günstiger bei dem Büchsenspinat. Es läßt sich aber nicht erkennen, auf welchen Anteil — Milch oder Spinatresorption — diese zurückzuführen ist. Wenn man annimmt, daß die Milch so resorbiert worden ist, wie unter normalen Verhältnissen, d. h. mit 5·07 Prozent Kalorienverlust, so sind folgende Kalorienmengen auf die Zugabe von Spinat zu beziehen.

	Kind Belair		Kind Hähnel	
	Spinatpulver	Büchsenspinat	Spinatpulver	Büchsenspinat
In der Entleerung	52·0 Kal.	51·2	62·0	60·3
Aus Milch . . .	26·1	23·0	27·8	27·1
Mehr durch Spinat	25·9	28·2	34·2	33·2

Die bessere Resorption bei Kind Belair tritt wieder deutlich hervor. Bezieht man diese „Überschüsse“ auf den gefütterten Spinat, so macht der Verlust aus:

37·8 %	43·8 %	50·0 %	51·4 %

Der gesamte Nutzeffekt ist demnach relativ gering gewesen, dies begreift man aus den früheren Resultaten ungünstiger Verwertung der Zellmembran, denn diese macht ja einen sehr bedeutenden Anteil des ganzen Nährwertes aus, im übrigen übt der hohe Gehalt an Chlorophyll, das anscheinend größtenteils mit dem Kote wieder abgeht, auch einen wesentlichen Einfluß auf dies Ergebnis aus.

Das Kind Hähnel hat im Durchschnitt den Spinat ungünstiger resorbiert, wie das Kind Belair. Es erübrigt jetzt noch, auf die N-Ausnutzung

einzugehen. Ich habe schon mehrfach darauf hingewiesen, daß die Zellmembranen stets noch N einschließen und habe zeigen können, daß diese N-Menge, welche in ihnen verbleibt, wohl die Hauptmasse, wenn nicht allen unverdaulichen N der pflanzlichen Nahrung darstellt.

Aus diesen Beobachtungen entnehme ich die Veranlassung, in den vorliegenden Versuchen eine solche Rechnung über die Unverdaulichkeit des Spinatproteins aufzustellen. Ich gebe dabei die N-Menge an, welche ich durch direkte Bestimmung in der Zellmembran gefunden habe und vergleiche sie mit der Zufuhr. Gesamtstickstoffausscheidung vermindert um den N in der Zellmembran, gibt dann die Menge des N, welcher aus Stoffwechselprodukten und der Milch herrührt. Nachfolgende Tabelle enthält die entsprechenden Angaben.

Kind	Spinatart	Aufnahme N in der Milch	Aufnahme im Spinat	Summe der Aufnahme	N im Kot insgesamt	N in der Zellmembran	Bleibt für Milchkot	Verlust an N insgesamt	Verlust an Spinat-N	Verlust an Milch-N
Belair	Spinatpulver .	3·10	0·93	3·93	0·54	0·27	0·27	13·7	29·0	9·0
	Büchsenspinat	2·58	0·82	3·40	0·42	0·24	0·68	12·3	28·9	7·0
Hähnel	Spinatpulver .	3·29	0·93	4·22	0·57	0·29	0·28	13·5	31·2	8·5
	Büchsenspinat	3·06	0·87	3·90	0·61	0·17	0·32	12·5	20·7	10·4

Für die N-Ausnutzung der Milch ergibt sich im Mittel aller Versuche bei beiden Kindern 8·81 Prozent Verlust, bei Kind Belair 7·99 Prozent, bei Kind Hähnel 9·43 Prozent.

Beim Erwachsenen habe ich bei mittlerer Milchmenge früher einen N-Verlust von 6·75 Prozent gefunden[1], aber bei größeren Milchgaben bis 12·9 Prozent, beim Säugling fand Heubner und ich einen N-Verlust von 6·38 Prozent[2], was günstig erscheint, da der Säugling eben sich von Milch allein ernährt und relativ viel mehr verzehrt als ein Erwachsener. Die Zahl 8·8 Prozent weicht nicht erheblich von der zu erwartenden N-Ausscheidung ab, sie läßt also annehmen, daß der Spinat keine nennenswerte Schädigung der Resorption des Milcheiweißes herbeigeführt hat, vielleicht hat eine solche bei Kind Hähnel vorgelegen.

Vom Spinat-N ist aber ein erheblicher Bruchteil verloren gegangen, bei Kind Belair rund 29 Prozent, bei Kind Hähnel betrug der Verlust einmal 31·2 Prozent, das andere Mal 20·7. Ähnlich hohe Zahlen habe ich

---

[1] *Zeitschr. f. Biol.* 1898. Bd. XXXVI. S. 62.

[2] *Ebenda* Bd. XXXVIII. S. 330.

beim Hund für die Resorption der Eiweißstoffe bei Mohrrüben, Spinatzellmembranen und Kleie-N gefunden. Es gehen also von dem Spinat-N zwischen 21 bis 31 Prozent verloren.

Was die Beschaffenheit des Kotes anlangt, so hatte Geheimrat Haberlandt die Freundlichkeit, ihn einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen. Ausgewählt wurde die Spinatpulverfütterung. In den feinkrümligen und körnigen Klümpchen von grüner Farbe ließen sich histologische Bestandteile kaum mehr erkennen. Parenchymzellwände sind nicht nachweisbar, dagegen sind vollkommen intakt die Bruchstücke der starkverholzten Gefäße, bzw. ihre Spiralfasern. Von vielen Krümchen lösen sich sehr zahlreiche, stäbchenförmige große Bakterien los.

Aus dieser Darstellung ergibt sich, daß die mechanische Zertrümmerung bei der Herstellung des Gemüsepulvers eine sehr weitgehende war. Diese traf alle weicheren Elemente. Der Auflösung der Zellmembran standen also in dieser Hinsicht keine Hindernisse entgegen, trotzdem war sie gering.

Ob dieser Vorgang irgend etwa mit dem frühen Lebensalter der Kinder in ursächlichem Zusammenhang steht, muß vorläufig dahingestellt bleiben.

Über einen Versuch am Erwachsenen mit einer Zulage von 1400 g Spinat zu einer gemischten Kost, die aus Milch, Kaffee, Eier, Butter, Rindfleisch, Reis, Grahambrot und Haferschleim bestand und einer analogen mit 100 g Friedenthalschem Spinatpulver berichtet Strauch, wobei die Verbrennungswärme des entleerten Kotes als Maßstab der Resorption genommen wurde.[1] Strauch meint, die kalorische und N-Ausnützung des Spinatgemüses und Spinatpulvers sei annähernd die gleiche. Wenn ich die mitgeteilten Zahlen betrachte, so scheint sich mir ein anderes Resultat zu ergeben. Berechnet man die N-Ausscheidung und die Kalorien der Vor- und Nachperiode ohne Spinat und die Spinatfütterungen, so zeigt sich folgendes:

	Normalkost	Spinatgemüse	Spinatpulver
Kalorien im Kot . . .	150·0	158·0	136·0
N im Kot	1·34	1·17	1·14

Es war also bei den Kalorien der Spinatgemüsezusatz wohl sichtbar geworden, bei Spinatpulver kommt aber überhaupt weniger Ausscheidung, als die Normalkost liefern muß, bei N kommt in der Normalkost mehr pro Tag als bei Spinatzugabe, was unmöglich erscheint. Denn die Ausnutzung könnte höchstens vollkommen sein, was jeder Erfahrung widerspricht, aber der Spinatzusatz kann kaum die andere Ausnutzung in Milch, Eier, Butter, Rindfleisch, Reis, Grahambrot und Haferschleim verändern,

[1] *Zeitschr. d. exper. Pathol. und Ther.* 1913. S. 9.

oder wenn es geschähe, so ist eben die Versuchsanordnung zum Entscheid nicht geeignet. Nach meinen Erfahrungen ist die Zugabe von Grahambrot, das außerordentlich im Kleiegehalt schwankt, für solche Experimente nicht anwendbar.

Nach Lohrisch[1], der Spinat als Zusatz zu anderer Nahrung gab, soll die „Zellulose" des Spinates zu 70 bis 90 Prozent ausgenutzt werden, doch steht nicht fest, ob die von ihm eingeführte Methode des Zellulosenachweises für den Kot als zureichend angesehen werden kann. Die Versuche von Lohrisch sind auch meist zu kurzdauernd, um sichere Resultate zu geben.

[1] *Zeitschr. d. exper. Pathol. und Ther.* 1908.

Darstellung verwertbarer Nährstoffe in trockener Form aus Gemüsen.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Alle bisher gesuchten und versuchten Mittel von Zusätzen zu Brot bewegen sich nach zwei Richtungen, entweder bringen sie nur mehlartig zubereitete Zellmembranen aus Hölzern oder sie bringen Gemische von Zellmembranen mit wenig Stärke, wie die Spelzmehle, die eine Mittelstellung zwischen Holzmehlen und Kleie darstellen, oder sie verwenden Kartoffeln, also wesentlich Stärkemehl. Diese Produkte machen entweder das Brot überhaupt minderwertig durch den Reichtum an schwerverdaulicher Substanz oder vermindern relativ den Eiweißgehalt des Brotes durch die fremde Beimengung oder auch durch relative Verminderung der Verdaulichkeit und Mehrung der dem Darm aufgebürdeten Last.

Zusätze zu Brot mit größerem Eiweißgehalt kennen wir nicht, außer in den Leguminosen; da an diesen überhaupt Mangel ist, kann von ihrer Verwendung um so weniger die Rede sein, als sie, wenn vorhanden, nach alten Erfahrungen nicht zur Brotverbesserung, was das Backprodukt anlangt, Anwendung finden können.

Es gibt unter den Nahrungsmitteln aber doch eine ganze Reihe, die nicht Leguminosen und doch im trocknen Zustande sehr reich an N sind, wie z. B. Spinat und Salat oder auch noch Grünkohl. Ihre Benutzung ist ausgeschlossen wegen des Preises und wegen der Farbe, obschon die Anwendbarkeit von Gemüsen in trocknem Zustande die Zufuhr dieser Nahrungsmittel sehr stark steigern könnte.

Die Sachlage kann aber insofern geändert werden, als man bei den Gemüsen zum Teil sehr viel Abfall erhält, dem man durch eine einfache Extraktion mit Alkohol das Chlorophyll entziehen könnte. Auch gibt es einige wild vorkommende Pflanzen, wie Brennesseln, die sich der Zusammensetzung nach als ähnliche Nahrungsquellen hierzu eignen würden. Um auch diese Seite des Problems zu prüfen, habe ich die sich bei einer anderen Ver-

suchsreihe ergebenden Salatabfälle zunächst von Chlorophyll befreit und ein graues Pulver erhalten. Will man es weißer erhalten, so entfärbt man mit schwefliger Säure. Die weitere Frage wäre dann, ob solche Präparate noch ausreichend resorbierbar sind und ob sie nennenswert resorbierbare Eiweißstoffe liefern.

Ich habe daher einen orientierenden Versuch beim Hund in derselben Weise wie die anderen bei 1000 g Fleisch ausgeführt. Das Material reichte aber nur zu einer täglichen Zufuhr von 25 g lufttrocken = 22·75 g Trockensubstanz aus.

Zufuhr.

	In 100 Teilen Trockensubstanz sind	In 22·75 g Trockensubstanz pro Tag sind
Asche	19·34	4·40
Organisches	80·66	18·35
Pentosen	13·26 = 11·69 Pentosan	3·00
N	4·76 = 29·74 Rohprot.	1·08 = 6·76 Rohprot.
Zellulose	19·83	4·51
Zellmembran	51·84 mit 11·70 g Pentosan	11·79 mit 2·98 g Pent.
Rest	18·92	4·30
Verbrennungswärme	381·0	86·7

Die Ausscheidung.

	In 100 Teilen Trockensubstanz sind	In 49·32 g Trockensubstanz pro Tag sind
Asche	53·05	26·16
Organisches	46·95	23·16
Pentosen	2·80 = 2·47 Pentosan	1·39 = 1·67 Pentosan
N	2·83	1·40
Zellulose	4·98	2·46
Zellmembran	9·14 mit 0·95 g Pent.	4·51 mit 0·47 g Pent.
Rest	3·21	1·58
Fett	1·58	0·78
Verbrennungswärme	232·8	114·8

Die Verluste stellen sich für 100 Teile Zufuhr wie folgt:

Gesamtpentosen	46·37
Zellulose	54·54
Zellmembran	38·25
Pentosen in der Zellmembran	16·04
Rest	36·74

Die Ausnutzung der Zellmembran des Salates ist sehr günstig, die der Zellulose minder gut.

In 100 Teilen Zellmembran sind

	Bei der Zufuhr	Bei der Ausscheidung
Zellulose	38·25	54·48
Pentosan	22·56	10·37
Rest	39·14	35·15

Die Pentosane der Zellmembran werden erheblich angegriffen, die Resorption des Pentosans ist schlecht. Daher der Unterschied zwischen Gesamtpentosen und Pentosen der Zellmembran in der Berechnung. Tatsächlich sind in der ursprünglichen Substanz ja nur Pentosen der Zellmembran. Die Ausnutzung der N-Substanz ist nicht befriedigend. In der Zellmembran waren 0·461 g N vorhanden, die als Reste der Eiweißstoffe des Salates angesehen werden können. Die N-Menge im Kot 1·400, so daß 0·939 g für Stoffwechselstickstoff übrig bleiben, statt 1·01, wie sonst beobachtet wurde, was aber innerhalb der Fehlerquellen solcher Versuche liegt. Wenn die N-Zufuhr 1·08 g pro Tag im Salat beträgt und 0·461 g unverdaulich sind, so ergibt dies einen Verlust von 42·7 Prozent, also einen hohen Prozentsatz, wobei aber zu bedenken ist, daß Amid-N nicht in Betracht kommt. Da man dem Hund wohl an 70 bis 80 g täglich hätte verabreichen können = 20·8 g Protein, so hätte er davon nur 11·9 g Protein resorbiert, rund 4·9 Prozent der Gesamtkalorien, nicht eben viel, aber immerhin resorbiertes Eiweiß.

Die Verbrennungswärme des Kotes pro Tag ist 114·8 kg-cal., zieht man davon 67·7 Kal. als zum Fleischkot gehörig ab, so bleiben 47·1 kg-cal., die auf die Reste des unverdauten Präparates gerechnet werden können.

Die unverdauten Teile des Salatpräparates sind jedoch bekannt. Sie bestehen aus 4·51 g Zellmembran bei etwa 4·2 kg-cal., Verbrennungswert = 18·94 Kal.

	18·94 Kal.
aus 0·92 g Pentosan (× 3·9)	3·60 „
0·461 g unverdautem N = 2·88 Eiweiß (× 5·8) =	16·70 „
Summe	39·24 Kal.

Man sieht, daß diese Berechnung nicht sehr weit von obiger Schätzung (mit 47·1 Kal.) abweicht. 86·7 Kal. waren in dem gefütterten getrockneten Salatpulver, 39·2 Kal. in dem Verlust = 44·06 Prozent Verlust. Die Hauptquellen des Verlustes sind Anteile der nicht resorbierten Zellmembran und die ungelösten und unresorbierten Eiweißstoffe, andere Nährstoffe sind übrigens in nennenswerten Mengen auch im frischen Salat nicht vorhanden. Betrachtet man die Verluste bei der Spinatfütterung an Kindern, so zeigt sich auch kein recht wesentliches Übergewicht gegenüber der trocken angewendeten Salatpräparate in diesem Falle.

Weitere Beiträge zur Zusammensetzung der Gemüse.

Von

Max Rubner.

Meine Untersuchungen über die Zusammensetzung einiger Wurzel- und Blattgemüse waren durch den Zufall, daß das gewünschte Material nicht immer zu beschaffen war, eingeschränkt worden, es sind daher einige sonst sehr weit verbreitete Gemüse außer Betracht geblieben. Da zurzeit (Sommer 1916) diese Lücken ausgefüllt werden konnten, will ich in folgendem über die Zusammensetzung des Spargels, des Rhabarbers und der Gurke nähere Angaben machen.

Der Spargel.

Der Spargel ist ein bereits im Altertum bekanntes und besonders gezüchtetes Gemüse, das auch in der diätetischen Therapie eine Rolle spielte und heute in der feinen Küche sehr geschätzt ist. Meine Untersuchungen beziehen sich auf Spargel aus der Umgebung von Berlin, eine weiße Sorte, zeigefinger- bis daumendick. Der Spargel wird außen überzogen von einer bastartigen Schicht verholzter Zellen, die man bei der Zubereitung des Spargels entfernt. Legt man Spargel in eine kalte Lösung von Phlorogluzinsalzsäure, so färbt sich diese zähere Außenschicht rot, in gleicher Weise auch die Gefäße im Innern des Spargels, das Reagens wird in den Kapillaren gehoben; schneidet man die Spargel senkrecht zur Länge oder parallel zu diesen, so erhält man ein zierliches Bild der verholzten Teile, die Gefäße strahlen auf solchen Längsschnitten wie zarte Linien nach dem Kopfe hin aus. Im übrigen besteht der Spargel nach Haberlandt aus jugendlichem embryonalen Zellgewebe, in dem mächtige Protoplasmakörper mit großen Zellkernen enthalten sind. Die verholzten Gefäße sind jene Fasern, die von vielen Personen beim Essen des Spargels entfernt werden, wodurch sich ein erheblicher Abfall an Stoffen ergibt. Beträgt der Verlust beim Putzen des Spargels schon 22 Prozent, so verliert man unter Hinzurechnung der „Fasern“ nochmals 20 Prozent, im ganzen also 42 Prozent und wohl häufig mehr.

Nach den bisher vorliegenden Analysen[1] läßt sich für 100 Teile trockenen Spargel berechnen:

10·19 Prozent Asche,
89·81 ,, Organisches,
31·05 ,, Rohprotein (darunter 13·6 Teile Reinprotein),
2·23 ,, Fett,
38·21 ,, N-freie Extrakte und Zucker,
18·31 ,, Rohfaser.

Von 100 Teilen Rohprotein sind nur 44 Prozent wirkliches Eiweiß.

Vermutlich beziehen sich diese Angaben auf Spargel, dessen äußere bastartige Schale nicht entfernt wurde. Ich habe nur die für den Genuß brauchbaren Teile untersucht.

Die Trockenbestimmung im frischen Spargel ergab 7·61 Prozent Trockensubstanz. Dämpft man den Spargel in einer verschlossenen Glasröhre, so verliert er 8·4 Prozent an Flüssigkeit. Durch Pressen bei 300 Atmosphären erhält man 65·1 Prozent gelben, wohlriechenden Preßsaft, der außer Zucker reichlich Amidsubstanzen und Salze enthält.

Die Köpfe des Spargels sind wegen ihrer Zartheit und ihres Wohlgeschmackes der gesuchtere Teil, natürlich ist die Grenze zwischen Kopf und Stil nicht scharf zu ziehen; ich habe bei guten Spargelsorten 9·4 Prozent des Gewichtes des geputzten Spargels an Köpfen erhalten, was selbstverständlich nur eine ungefähre Angabe sein kann. Ich habe sowohl den ganzen Spargel, wie auch die Köpfe und Stiele getrennt untersucht, die Köpfe enthalten 10·82 Prozent, die Stiele 7·05 Prozent Trockensubstanz, der ganze Spargel wie schon bemerkt 7·6 Prozent. Über die Art der Analyse bedarf es keiner weiteren Angabe, ich verweise auf meine früheren Veröffentlichungen. Die Resultate waren folgende:

100 g Trockensubstanz enthalten:

	Köpfe	Stiele	Ganzer Spargel
Aschebestandteile	8·08	4·90	5·23
Organische Substanzen	91·92	95·10	94·77
Pentosen	8·65	8·74	8·75
Rohprotein	36·53	21·94	23·44
Reinprotein	27·66	9·85	11·27
Zellulose	7·52	10·03	9·77
Zellmembran	24·21	21·00	21·32
Davon Pentosan	4·34	2·12	2·31
Verbrennungswärme	431·80	435·10	431·50

[1] König, Bd. II. S. 923.

Köpfe und Stiele sind also wesentlich verschieden in der Zusammensetzung. Die Köpfe sind aschereicher und reicher an Protein, der Amid- usw. Stickstoff wurde für Köpfe und Stiele bestimmt, die Köpfe enthalten 76 Prozent des N an Reinprotein, die Stiele nur 44·9 Prozent. Der Zellulosegehalt ist bei den Stielen bedeutender als bei den Köpfen, die Zellmembran etwas reichlicher in den Köpfen als im Stiele. Daraus folgt, daß letztere in Köpfen und Stielen verschiedene Zusammensetzung hat.

100 Teile Zellmembran enthalten:

	Köpfe	Stiele	Ganzer Spargel
Zellulose	31·08	47·76	45·73
Pentosane	17·95	16·40	16·54
Restsubstanzen	50·97	35·84	37·73

Die Zellmembran der Köpfe enthält also erheblich weniger Zellulose als der übrige Spargel; eine andere Probe Spargel ergab für Köpfe und Stiele als Zusammensetzung der Zellmembran.

100 Teile enthalten:

Zellulose	45·96	Prozent
Pentosane	14·30	,,
Restsubstanzen	39·74	,,

Von den Pentosanen sind bei den Köpfen 4·34 g in der Zellmembran, im Stiel 3·44 g; da erstere im ganzen 7·64 g Pentosane enthalten, letztere 7·71 g, so sind in den Köpfen 56·8 Prozent der Pentosane in der Zellmembran, in den Stielen 44·6 Prozent. Der Spargel unterscheidet sich in dieser Hinsicht erheblich von den Blattgemüsen und Wurzelgemüsen, denn bei letzteren ist die Hauptmasse der Pentosen in der Zellmembran enthalten. In den Köpfen des Spargels sind weniger, in den Stielen mehr Pentosen außer Verband der Zellmembran. Der Preßsaft des Spargels ist reichlich, er reagiert stark sauer, namentlich beim Erwärmen nimmt er einen besonders ausgeprägten Wohlgeschmack an.

Was den Preßsaft anlangt, so läßt sich darüber folgendes sagen:

100 Teile frischer Spargel enthalten:

	Trockensubst.	Asche	Organisches	N
Spargel	7·60	0·46	7·14	0·246
Zellmembran	—	—	1·62	—
Zellmembran abgezogen	—	—	5·52	—
Preßsaft	2·51	0·29	2·22	0·108
Im Preßsaft sind . . . . im Verhältnis zu Spargel	—	63·0 Proz.	31·0 Proz.	43·9 Proz.

Rührt man zerkleinerten Spargel, Köpfe oder Stiele mit Wasser an und läßt die Masse stehen, so entwickelt sich eine sehr lebhafte Gärung bei den Köpfen. Bringt man die Masse in den Brutschrank, so zeigt sich, daß sowohl Köpfe und Stiele in Gärung kommen. Dabei zerfallen die Köpfe in feinste Krümelchen und scheinen sich aufzulösen. Die Stiele zerfallen auch, aber es dauert mehrere Wochen, ehe der Detritus sich bildet. Anfänglich ist die Gasbildung sehr stark und der Geruch nach Buttersäure und anderen flüchtigen Fettsäuren sehr penetrant; später ist das Gas äußerst stinkend. In der Flüssigkeit hat sich Bac. amylobakter entwickelt, unter dessen Einfluß offenbar die Auflösung der Parenchymzellen auftritt. Sollte die Angabe richtig sein, daß Bac. amylobacter keine Zellulose löst, so würde die Beobachtung dafür sprechen, daß die Parenchymzellen nicht aus reiner Zellulose bestehen, vielleicht überhaupt nicht Zellulose enthalten; diese Annahme kann nicht zutreffen.

Mehrfach habe ich beobachtet, daß jene Vegetabilien, bei welchen die N-Verbindungen auf chemischem Wege schwer aus den Zellmembranen auszuscheiden sind, auch entsprechend hohe N-Verluste im Kote zeigen. In dieser Hinsicht bestehen zwischen den Beziehungen der N-Verbindungen der Zellmembranen der Spargelköpfe und Stiele charakteristische Unterschiede. Von dem Rohproteingehalt der Köpfe finden sich 20·1 Prozent in den Zellmembranen wieder, richtiger wird man aber die Reste von N, die in der Zellmembran bleiben, als wirklichen Eiweißrest ansehen und sie auch auf den Reinproteingehalt des Ausgangsmaterials berechnen, dann entfallen 26·5 Prozent des Eiweißes als Verlust mit Zellmembran. Die Spargelstiele verhalten sich völlig anders, nur 4 Prozent der Rohprotein bleibt in der Zellmembran, auf Reinprotein des Ausgangsmaterials gerechnet, 9·7 Prozent, also fast nur $^1/_3$ von jener Menge bei den Köpfen. Anordnung des Eiweißes in der Zelle oder Durchgängigkeit derselben für Reagentien müssen also in Stielen und Köpfen verschieden sein. Auch mit Berücksichtigung dieser Umstände bleiben die Köpfe den Stielen im Eiweißgehalt um mehr als das Doppelte überlegen.

Rhabarberstengel.

Die Rhabarberstengel haben wir als Gemüse wohl von England übernommen, ihre Verwendung ist auch heute nur über einen Teil Deutschlands verbreitet; es kann zweifelhaft sein, ob die Einführung dieser Pflanze als wesentliche Bereicherung unserer sonstigen Gemüsearten gelten kann. Für die Küchenzwecke werden Blätter, Wurzelstücke und die derbe Oberhaut der Stengel beseitigt. Das Zerkleinern der Pflanze läßt den Zellsaft reichlich ausfließen, er gibt die Trommersche und Phlorogluzin-

Pentosereaktion. Weder im Spargel noch im Rhabarber scheinen Oxydasen vorzukommen, oder wenigstens keine mit Veränderung der Farbe spaltbaren Verbindungen, denn man kann die verletzten Pflanzen unbeschadet ihrer Farbe an der Luft liegen lassen. In alkalischer Lösung verfärbt sich der leicht gelblichgrüne Rhabarbersaft, wird blaugrau und nimmt beim Ansauern seine ursprüngliche Farbe wieder an. Nach den Zusammenstellungen bei König, Bd. II, S. 325, läßt sich für die Trockensubstanz berechnen:

11·31 Prozent Asche,
88·69 ,, Organisches,
9·49 ,, Rohprotein,
10·40 ,, Fett,
57·11 ,, Zucker und N-freie Extrakte,
10·80 ,, Rohfaser.

Bemerkenswert ist der außerordentlich hohe Oxalsäuregehalt. Unter den „N-freien Extrakten" sind 14·28 Teile Oxalsäure, was in diätetischer Hinsicht zu beachten sein dürfte. In Berlin kommen die ganzen Pflanzen (abgesehen vom Wurzelteil) in den Handel, so daß bei der Zubereitung der größere Teil verloren geht und nur rund 44·3 Prozent genießbares erhalten wird. Die von mir untersuchte Probe hatte 5·33 Prozent Trockensubstanz, was mit den Angaben bei König übereingeht; im übrigen sind die nachstehenden Abweichungen dadurch wohl bedingt, daß mein Material nicht die ganzen Stengel, sondern nur die genießbaren Teile umfaßt.

In 100 Teilen Trockensubstanz habe ich gefunden:

8·43 Prozent Asche,
91·57 ,, Organisches,
8·56 ,, Pentosen = 7·56 g Pentosan,
15·12 ,, Zellulose,
27·27 ,, Zellmembran mit 4·48 g Pentosen = 3·95 g Pentosan,
1·95 ,, N = 12·19 Rohprotein = 6·92 Reinprotein,
8·24 ,, Fett,
338·4 kg-cal.

Der Rhabarber ist ziemlich reich an Pentosan, von diesem ist aber nur 46·14 Prozent in der Zellmembran, der Rest also in gelöster Form vorhanden; insofern weicht Rhabarber von den übrigen untersuchten Blattgemüsen und auch von den Wurzelgewächsen ab. Da die äußere derbe Hülle entfernt war, ist auch der Zellulosegehalt nicht so groß, wie er sonst bei Genuß der unversehrten Stengel sein müßte; mit Rücksicht

darauf muß man aber den Gehalt an Zellmembran als recht hoch bezeichnen. Dem Proteingehalt nach gehört die Pflanze zu den N-armen Gewächsen, 56·8 Prozent ist Reinprotein, der Rest Amidstickstoff.

Die Zellmembran selbst besteht in 100 Teilen aus:

55·44 Prozent Zellulose,
14·50 ,, Pentosan,
30·05 ,, Restsubstanz.

Der Zellulosegehalt ist also erheblich höher als jener der Wurzel- und Blattgemüse im allgemeinen; daher wird man diese Zellmembran im allgemeinen als eine weniger verdauliche ansprechen dürfen. Zweifellos kommen aber größere Schwankungen der Zusammensetzung vor, je nachdem man die Außenhaut der Stengel gründlich oder weniger gründlich abzieht. Es ist als sicher anzunehmen, daß die äußere Schicht nährstoffärmer und zellmembranreicher als die Innenschicht ist.

Der Pentosegehalt ist relativ gering.

Setzt man die Zellmembran in die Analyse ein, so ist der Gehalt an N-freien Extrakten wesentlich geringer, als bisher angenommen wurde, = 41·71 Prozent der Trockensubstanz. In dieser sind aber immer noch nach der Angabe Königs 14·28 Prozent Oxalsäure, die als nebensächlicher Ballast angesehen werden muß, enthalten, also bleiben 27·43 Prozent als Rest, der auf Zucker, Amidsubstanzen u. dgl. treffen mag. Der Nährwert ist demnach gering. 100 g Trockensubstanz liefern 338·4 kg-cal. Davon ist abzuziehen der Verbrennungswert für den N-haltigen Teil 8·69 + 27·8 = 36·5, es bleiben also pro 100 g 301·9 kg-cal. Berücksichtigt man, daß die Oxalsäure größtenteils unverbrannt ausgeschieden werden wird und daß sie an und für sich einen sehr geringen Brennwert hat (1 g = 0·66 Kal), so sinkt der Wert des Rhabarber als Nährstoff noch weiter. Es liegt also gewiß kein Grund vor, seine Kultur zu fördern.

Über die Verteilung der Substanzen auf den Preßsaft gibt folgende Zusammenstellung Aufschluß.

100 Teile frischer Rhabarber enthalten:

	Trockensubst.	Asche	Organisches	Pentosen
Stengel	5·33	0·52	4·81	0·46
Zellmembran	—	—	1·45	—
Rest ohne Zellmembran .	—	—	3·36	—
Preßsaft	3·32	0·47	2·85	0·14
Preßsaft zur gesamt. Menge	62·30	90·40	69·80	30·40
Zellmembranfreie Substanz zu Saft	—	—	84·82	—

Sowohl die Aschebestandteile wie der Zellsaft überhaupt gehen überwiegend in den Preßsaft über, die Oxalsäure findet sich wohl vollkommen im Preßsaft.

Die Gurke.

Es mutet uns heute sonderbar an, wenn man an die ältere Anschauung über den therapeutischen Wert der Gurke erinnert, daß sie ein bei Fieber, Tuberkulose, Hämoptoe, Lepra eine Rolle spielte, immerhin ist eine solche Rückerinnerung von Bedeutung, um zu zeigen, wie die empirische Beobachtung jahrzehntelang auf falschen Bahnen sich bewegen kann. Heute ist die Gurke ein bescheidenes Nahrungsmittel geworden, dessen Genußwert jedenfalls höher als sein Nährwert eingeschätzt werden muß. Ihre weite Verbreitung rechtfertigt aber immerhin ihre Untersuchung.

Die Gurke, zu den Kürbisfrüchten gehörig, wird im unreifen Zustande genossen. Abfälle entstehen bei der Zubereitung nicht, während bei dem Kürbis und der Melone nur der saftige Inhalt genossen wird und ihnen so mehr die Stelle als Obst zuweist. Bei König, Bd. II, S. 920, ist ein Mittelwert von 5 Analysen ausgeführt, aus denen sich pro 100 Teile Trockensubstanz berechnet:

10·00 Prozent Asche,
90·00 ,, Organisches,
23·27 ,, Rohprotein,
47·63 ,, Zucker und sonstige N-freie Extrakte,
2·39 ,, Fett,
17·48 ,, Rohfaser.

Das von mir untersuchte Material hatte nur 3·69 Prozent Trockensubstanz. Die Gurke gibt beim Zerkleinern einen halbflüssigen Brei, dessen Mischung für die Analyse schwierig ist.

Die Zusammensetzung von 100 Teilen Trockensubstanz ergab:

11·93 Prozent Asche,
7·21 ,, Pentosan,
12·74 ,, Zellulose,
22·79 ,, Zellmembran mit 3·89 g Pentosan,
18·12 ,, Protein = 12·56 Reinprotein,
5·80 ,, Fett,
386·9 kg-cal. Verbrennungswärme.

Auffallend ist vielleicht der unter dem Durchschnitt der Gemüse bleibende Gehalt an Zellmembranen, während die Gurke doch eine sehr

feste Außenhaut besitzt; allerdings ist der Inhalt der Frucht weich und wässerig, wohl wenig membranreich, wodurch ein Ausgleich gegenüber der derben Haut geschaffen wird.

Die Zusammensetzung der Zellmembran zeigt ein ziemliches Überwiegen der Zellulose.

100 Teile enthalten:

55·90 Prozent Zellulose,
17·26 ,, Pentosan,
26·83 ,, Restsubstanzen.

Von den Pentosanen sind nur 53·95 Prozent in der Zellmembran, der Rest im Saft oder anderweitig gebunden.

Ungemein bedeutend ist der Preßsaft = 71·8 Prozent der frischen Gurke. Von dem N gehen 45·1 Prozent in den Preßsaft über; da überhaupt nur 30·7 Prozent des N Amidstickstoff ist und der ausgepreßte Saft jedenfalls nicht sehr proteinreich ist, so wird der Hauptsache nach der Amidstickstoff beim Pressen austreten.

Die nutzbaren Kalorien ergeben sich wie folgt: Von der Gesamtverbrennungswärme gehen ab 15·3 + 29·6 Kal. für den N-haltigen Anteil, so daß als Rest bleibt 386·9 — 45·3 = 341·6 kg-cal. pro 100 g Substanz.

Die Menge der genossenen Gurken ist selten von Bedeutung, da die bekannten Beschwerden der Gasbildung bei den meisten Menschen allein schon eine Beschränkung auferlegen. Der hohe Gehalt an Zellulose läßt die Zellmembran ähnlich wie jene des Rhabarberstengels als schwerer verdaulich erscheinen.

Die Verdaulichkeit reiner Zellulose beim Hund.

Von

Max Rubner.

Meine zahlreichen Versuche an Birkenholz, den Zellmembranen der Kleie, der Mohrrüben, des Spinats, der Haselnüsse wie Haselnußschalen und Pilze haben dargetan, daß die Zellulose für den Hund keineswegs etwas völlig Unverdauliches ist. Je nach den morphologischen Verhältnissen und dem chemischen Gemisch der Zellmembran wird mehr oder weniger aufgelöst, doch darf man sagen, daß unter den verschiedenen Stoffen oder Stoffgruppen der Zellmembran die Zellulose den größeren Widerstand entgegensetzt. Das Auflösungsmittel für die Zellulose ist in bakterieller Einwirkung zu suchen, die dazu nötigen Keime finden sich wahrscheinlich stets in der Nahrung und kommen im Kote vor. Da es leicht ist, durch Aussaat von Erde zelluloselösende Bakteriengemische zu erhalten, so liegt es nahe, in der Verunreinigung durch Staub und Erde vor allem bei Substanzen, die, wie die Gemüse, sehr oft verunreinigt sind, die Quelle der Keime zu sehen, die durch die Vorbehandlung und beim Kochen kaum völlig abgetötet werden; Gelegenheit zur „Nachimpfung" des Darminhaltes ist auch genügend vorhanden. Zelluloselösende Bakterien gibt es wahrscheinlich sehr viele. Zu ihnen gehört auch der Bac. macerans von Schardinger, der z. B. die Kartoffel völlig zerfallen macht, Pentosen und echte Zellulose zerstört. Nicht in allen Fällen scheint die Zellmembranlösung beim Wechsel der Nahrung sofort einzutreten, ich habe mehrfach beobachtet, daß nach anderweitiger Fütterung bei Hinzufügen von zellmembranführender Beikost, diese letztere in den ersten 24 Stunden nicht so verändert wird wie am zweiten und dritten Tage, das wäre durch die Anpassung der Bakterienflora an die neuen Ernährungsbedingungen

verständlich. Für die Gesamtausnützung eines zellmembranhaltigen Nahrungsmittels können sonach zufällige Umstände von Bedeutung sein. Es mag auch individuelle Verschiedenheiten in dieser Richtung geben, die sich in einer leichteren oder besseren Löslichkeit der Zellulose ausdrückt. Zweifellos werden die zelluloselösenden Bakterien nicht von der Zellulosegärung allein leben, sondern auch anderweitiges Nährmaterial erfordern, ja es wäre denkbar, daß gerade die natürliche Verbindung der Zellulose mit Pentosanen und Hexosanen usw. begünstigend auf die Entwicklung solcher Bakterien einwirkt. Eine Unmöglichkeit für die Auflösung der Zellulose im Darm des Hundes besteht also von vornherein sicher nicht, da ja keine typischen Eigenschaften des Darmes die Voraussetzung für die Löslichkeit der Zellulose sind.

Es wäre aber immerhin denkbar, daß sich vielleicht reine Zellulose für sich verabreicht, etwas anders verhält als das Stoffgemenge der natürlichen Zellmembranen. Zur Erledigung dieser Frage habe ich genau, wie bisher bei Prüfung der Zellmembranresorption verfahren wurde, Filtrierpapier verfüttert. Das letztere war der Tagesration von 1000 g Fleisch beigemengt. Zwei Versuche mit 50 g bzw. 75 g täglicher Fütterung von Papier wurden ausgeführt. Das Papier war in einer Rotationsmühle zu feinen Flocken zerrissen worden. Der Wassergehalt des Papierflaums war 4·00 Prozent, an Asche wurden 0·41 Prozent der lufttrockenen Masse gefunden. Bei der Untersuchung auf Pentosan wurden 0·57 Prozent der Trockensubstanz nachgewiesen; das Filtrierpapier hatte eine schwache Pentosenreaktion gegeben, was Veranlassung war, die quantitative Pentosebestimmung auszuführen. Kleine Mengen von Pentosan scheinen also sehr fest mit der Zellulose verbunden zu sein. Birkenholzmehl enthielt z. B. auch nach einstündigem Kochen mit 60 Prozent Kalilösung immer noch 8·42 Prozent Pentosen.

Die Tagesrationen von . .	50·0 g Papier	75·0 g Papier
enthielten	48·0 g Trockensubst.	72·0 g Trockensubst.
	0·2 g Asche	0·3 g Asche
	47·8 g Organisches	71·7 g Organisches
ab für Pentosan	0·3 g	0·5 g
also Reinzellulose	47·5 g	71·2 g

Die Verbrennungswärme der Trockensubstanz war 4·225 kg-cal. 50 g lufttrocken also = 202·8 kg-cal., 75 g = 303·2 kg-cal.

Der Hund ertrug die Fütterung außerordentlich gut, der Kot grenzte sich leicht ab, war natürlich sehr reichlich; nach dem Pulvern gab er

eine äußerst flockige Masse. Die Zusammensetzung der Ausscheidungen war folgende:

	Bei Fütterung von 50 g Papier	von 75 g Papier
Kottrockensubstanz pro Tag . . .	61·25 g	72·41 g
100 g Trockensubstanz enthalten:		
Asche	12·56 Prozent	8·16
Organisches.	87·44	91·84
N	2·64 Prozent	1·61
Pentosan	0·80 Prozent	0·67
Zellulose	58·31	69·71
Zellmembran	66·59	75·66
davon Pentosan	0·81 Prozent	0·82 Prozent
Fett	4·05	2·60
Verbrennungswärme	402·80 kg-cal.	423·00 kg-cal.

Daraus berechnet sich als tägliche Ausscheidung im Kote:

	Bei 50 g Papierfütterung	Bei 75 g Papierfütterung
Asche	7·71 g	5·71 g
Organisches	53·54 g	66·70 g
N	1·65 g	1·20 g
Pentosan	0·50 g	0·49 g
Zellulose	35·70 g	50·47 g
Zellmembran	40·73 g	54·79 g
davon Pentosan	0·40 g	0·62 g
davon N	0·37 g	0·52 g
Fett	2·48 g	1·88 g
Verbrennungswärme	246·60 kg-cal.	306·29 kg-cal.

Die Ausnützbarkeit läßt sich daraus mit Leichtigkeit ableiten. Die Fleischfütterung allein lieferte bei meinem Hunde pro Tag 67·7 Kal. als Ausscheidung im Kot, in den Ausscheidungen bei Zusatz von Papier war vorhanden:

	Bei 50 g Fütterung	Bei 75 g Fütterung
	246·60 kg-cal.	306·29 kg-cal.
ab	67·70 „	67·70 „
Es bleibt für gefüttertes Papier .	118·90 kg-cal.	238·59 kg-cal.
Die gefütterte Papiermenge hatte	202·80 kg-cal.	303·20 kg-cal.
Somit Verlust mit dem Kot . . .	88·21 Prozent	78·69 Prozent

Der Ausnutzungsverlust schwankt also zwischen 88·2 bis 78·6 Prozent, resorbiert wurde 11·8 bis 20·3 Prozent. Die Verdaulichkeit ist also zweifellos gering und kleiner, als man aus der Verfütterung der Zellmembranen anderer Art erwarten durfte, doch entscheidet diese Berechnung nicht. Klareren Einblick erhält man bei Berücksichtigung der direkten Bestimmung der Zellulose und der Zellmembranen überhaupt, weil es ja fraglich ist, ob die Kotbildung als Stoffwechselprodukt genommen, wirklich in beiden Fällen gleichmäßig war.

Im Grunde genommen hätte es hier keinen Sinn, zwischen Zellmembran und Zellulose zu trennen, denn beide sind eben identisch. Ich habe schon an anderer Stelle mitgeteilt, daß man bei der „Zellulosebestimmung" bei Filtrierpapier 99·5 Prozent des Papieres wiederfindet. Betrachtet man die Bestimmungen von Zellmembran und Zellulose im Kot, so stimmen aber beide nicht völlig überein. Es muß also bei der Papierfaser beim Durchgang durch den Darm eine Umwandlung vor sich gegangen sein. Die eine Veränderung ist leicht zu sehen, die Zellmembran aus Kot dargestellt, enthält in beiden Versuchen N, das eingeführte Material war bis auf Spuren N-frei. Dabei muß es sich um eine ziemlich feste Verbindung zwischen N-haltigen Substanzen und der Papierfaser handeln, also nicht um einfache Einlagerung von Stoffwechselprodukten des Kotes, da ja die Extraktion des letzteren mit saurem Alkohol, Äther, Chloralhydrat gewiß solche Produkte wegnehmen würde. Man kann aber wohl daran denken, daß Eiweißstoffe des Fleisches sich in die Papierfaser eingelagert haben und deshalb schwer extrahierbar waren. Berücksichtigt man diesen Umstand, so wären beim Versuche mit 50 g Papier 2·50 g, bei jenem mit 75 g 3·24 g Protein abzuziehen. Die Zellmembranmenge würde dann 38·2 kg-cal., bzw. 51·5 g, was schon nahe an die Werte 35·7 bzw. 50·5 für Zellulose herangeht. Es ist aber außerdem möglich, daß die Papierfaser, ehe sie aufgelöst wird, durch die Bakterien eine Lockerung und chemische Umwandlung erfährt, wodurch sie zwar wasserunlöslich bleibt, aber bei der Behandlung mit chlorsaurem Kali und Salzsäure sich zum Teil löst.

Berechnet man den wirklichen Verlust an Zellulose, so stimmen beide Versuche sehr nahe überein:

Versuch mit 50 g Papier ergibt 75·58 Prozent Verlust,
„ „ 75 g „ „ 70·78 „ „

Die Spuren von Pentosanen der Papierfaser scheinen völlig wieder ausgeschieden worden zu sein. Die Fleischkost pro Tag liefert 0·115 g Pentosan im Kot, ausgeschieden wurden:

	Bei 50 g Papierfütterung	Bei 75 g Papierfütterung
	0·50 g Pentosan	0·49 g Pentosan
ab	0·115 g für Fleischkost	0·115 g
bleibt	0·385 g	0·375 g

In der Zufuhr waren 0·3 bzw. 0·5 g Pentosan

Die N-Ausscheidung im Kot weist darauf hin, daß eine Mehrausscheidung von Stoffwechselprodukten aufgetreten ist. 1000 g Fleisch geben pro Tag 1·09 g N im Kot, nach Papierfütterung kam aber mehr N in der Ausscheidung.

	Bei 50g Papierfütterung	Bei 75g Papierfütterung
N im Kot	1·65	1·20
N bei Fleisch . . .	1·09	1·09
Überschuß	0·56	0·11

Zieht man von der Gesamtmenge der ausgeschiedenen Kalorien des Kotes die Verbrennungswärme der Reinzellulose ab, so läßt sich erkennen, ob tatsächlich eine Mehrung der Kotbestandteile eingetreten ist. Wir haben dann:

	Versuch mit 50 g Papier	mit 75 g
Kalorien des Kotes	246·6	291·6
Ab für Zellulose	150·8	213·2
Bleibt für Kotbildung	95·8	78·4

Statt 67·7 Kal. entfallen auf den Stoffwechselanteil des Kotes 95·8 bzw. 78·4 kg-cal.; in beiden Fällen ist also mehr Verlust vorhanden, bei Versuch mit 50 g Papierfütterung sogar mehr als bei 75 g, was übrigens auch mit den N-Zahlen des Kotes in Parallele steht. Die Papierfaser wird also beim Hunde auch verdaut und zwar mit rund 73·18 Prozent Verlust; resorbiert wurden 26·8 Prozent, das ist weniger, als in vielen meiner Versuche hinsichtlich der Zelluloseresorption beobachtet worden war. Es kann daher wohl als wahrscheinlich gelten, daß die Zellulose für sich schwerer angegriffen wurde als Zellulose im Verband der Zellmembran. Diese Ergebnisse stehen zu älteren Annahmen im Widerspruch.

Aus verschiedenen Beobachtungen von Frerichs, Hofmann und C. Voit war entnommen worden, daß die Rohfaser für den Hund unverdaulich sein müsse. Genauere Versuche hat erst W. v. Knieriem[1] am Hunde angestellt. Er verfütterte Watte und Leinwand und junges

[1] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XV. S. 79.

Gras und konnte nicht die geringste Resorption feststellen. Bei letzteren Versuchen fand er z. B. bei Fütterung von 6·726 g Rohfaser in den Ausscheidungen 7·158 g, in einem zweiten Falle bei Fütterung von 4·08 g in den Ausscheidungen 4·08 g Rohfaser. Nachdem ich gezeigt habe, daß der Hund aus dem verschiedensten Material Zellulose verdauen kann, ist das Resultat Knieriems mehr zufälliger Natur. Der Hund bedarf ja zur Verdauung der Rohfaser nicht spezifischer Verdauungssäfte, sondern nur bestimmter Bakterien, die ihm in ausreichendem Maße mit der Nahrung zugehen werden; aus dem Kote meiner mit Birkenholz gefütterten Hunde haben sich solche papierauflösenden Bakteriengemische direkt darstellen lassen.

Berichtigung.

Jahrg. 1915, S. 365, Zeile 25, zweites Wort muß „Zweihügels“ (anstatt Sehhügels) heißen und am Ende derselben Zeile muß „Seh-“ (anstatt Zwei-) stehen.

Metzger & Wittig, Leipzig.

ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG DES ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

HERAUSGEGEBEN VON

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1916.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1917

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.

Inhalt.

Seite

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 *M* Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge sind an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden. — Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom Manuskript getrennten Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, unter Berücksichtigung der Formatverhältnisse des Archives, eine Zusammenstellung, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizulegen.

Die Verdaulichkeit des Roggens bei verschiedener Vermahlung.

Von

Geheimrat **Max Rubner** und Prof. **K. Thomas.**

Wenn man die experimentellen Arbeiten zusammenfaßt, welche über die Verdaulichkeit der Nahrungsmittel am Menschen in vorstehendem mitgeteilt worden sind, so ergibt sich eine bestimmte Anschauung von dem Nährwert der verschiedenen Teile des Getreidekorns vom Weizen, zwar noch nicht ganz ideal, aber doch so weit, als die technischen Mittel eine Scheidung des Korns in einzelne Teile erlauben. Der Mehlkern, die Kleiezellmembran, die derben Hüllen, wie die Spelzen, der Keimling lassen jede für sich die Besonderheiten der Resorption erkennen, die bald von der Art der Membranen, der Art der Eiweißstoffe, aber auch von besonderen Wirkungen auf den Darm sich abhängig erweisen.

Im täglichen Leben wird es uns wenig bewußt, daß wir in dem Brote so verschiedenartige Teile vor uns haben. Die Zermahlung soll ein inniges Gemenge der Einzelteile des Korns liefern, durch die Ausmahlung werden Kleiebestandteile ausgeschieden, das Mehl hinterbleibt. Wenn man aber die Mahlweise der Mühlen in dieser Hinsicht betrachtet, so versteht man, wie höchst wandelbar die Gemische an Mehl sind, welche zu Brot verbacken werden. Daher auch das Schwanken der Ergebnisse im Ausnützungsversuch und die Unmöglichkeit, aus ihren Resultaten Schlüsse zu ziehen, welche das Wesen der Vorgänge erfassen würden. Die Gegenüberstellung von Ausnützungsversuchen mit Brot unbekannter Ausmahlungsweise hat keinen anderen Wert, als daß sie eben die unendlichen Verschiedenheiten der Herstellung von Mehlen und ihrer Verdaulichkeit dokumentieren. Mit dieser bloßen Aneinanderreihung von Einzelwerten sind wir tatsächlich im Verständnis der Verdaulichkeit seit den ersten Versuchen Rubners keinen Schritt weiter gekommen. Dagegen liegt jetzt ein Weg zu solchen Versuchen offen und wird in Zukunft beschritten werden können. Es ist auch viel zu

wenig bekannt und beachtet worden, daß die Herstellung von Mehlen verschiedenen Ausmahlungsgrades keineswegs durch die Bezeichnungsweisen der Handelsprodukte zum Ausdruck gebracht wird, daß vielmehr der Ausmahlungsgrad ganz von den Getreidepreisen abhängig ist. Es wird daher nicht ohne Bedeutung sein, wenn die Mitteilung einer Großmüllerei, die dem einen von uns schon bei Ausführung seiner ersten Ausnützungsversuche zur Aufklärung zugegangen war, näher erwähnt wird.

Wenn in den Mühlen, namentlich auch bei Vermahlung von Weizen, auch sehr verschiedene Mehlsorten hergestellt und mit bestimmten Numerierungen versehen werden, so ist damit nicht gesagt, daß in jedem Jahre das Getreide in gleiche Mengen verschiedener Sorten zerlegt würde.

In einem gegebenen Falle wurde z. B. der Weizen wie folgt vermahlen:

von Mehl Nr. I wurden erhalten	12	Prozent:
„ „ „ II „ „	30	„
„ , „ III , „	15	„
„ „ „ IV „ „	6	„
„ „ „ V „ „	6	„
„ „ „ VI „ „	4	„
Rauhfuttermehl	12	„
feine Kleie	8	„
grobe Kleie	2	„
Staub	1	„
Verstaubung und Verdunstung .	4	„

aus Roggen wurde erhalten

Nr. I = 30 Prozent
II = 45 „
III = 9 „
IV Kleie = 12
Verstäubung 4 Prozent

Je größer der Bedarf an guten Mehlsorten, desto besserer Weizen muß eingekauft werden; in einer armen Gegend, wo nur Mittelsorten der Mehle gekauft werden, kann auch ein Weizen mittlerer Güte zweckmäßig zum Ankauf kommen.

Sind die Brotpreise hoch und werden deshalb die feinen Mehle zu wenig gekauft, so muß aus kaufmännischen Gründen selbst Sorte I mit Nr. III, IV oder V gemischt werden, um einen geläufigen Handelsartikel zu geben Nr. I dient sonst zu feinen Mehlspeisen, Nr. II und III zu dem üblichen Hausgebrauch, zu Brot, zur Herstellung von Nudeln, Nr. IV und V sind Einbrennmehle. Nr. IV und Roggenmehl gibt das sogenannte Riemischbrot, das sehr viel auch zu der weniger feinen Backware Verwendung findet. Bei Roggen wird nur eine Sorte Kleie erzeugt, weil die Schalen dabei sofort zerrissen werden, indem man die Steine enger stellen muß. Die Schrotung des Roggens dient nicht zur Grießbereitung, vielfach wird daher der Roggen nur zu einer Sorte Mehl vermahlen, die zu „Hausbrot" Verwendung findet, Roggenmehl I wird nur erzeugt, wenn es zur Mischung mit Weizen IV als

Riemischmehl benützt wird. Von der Kleieausmahlung schrieb der Gewährsmann, daß bei Roggen meist 12 Prozent abzuscheiden wären; mit 4 Prozent sonstigem Verlust ging die Ausmahlung also auf rund 84 Prozent. In armen Gegenden bei hohen Mehlpreisen wird aber die Kleie nur bis auf 6 Prozent ausgemahlen, d. h. ein Mehl mit 90 Prozent Ausmahlung zu Roggenbrot verwendet. Aus dieser Darstellung sieht man, wie sehr wechselnd der Begriff Brot wird und wie man auch bei der Bennennung „Schwarzbrot" sehr verschiedene Zusammensetzungen des Mehles und Ausmahlungsgrades erwarten muß.

So schwankend also der Begriff Schwarzbrot oder Weißbrot sein wird, ebenso unbestimmt ist auch die Bezeichnungsweise Vollkornbrot, worunter zum Teil wirklich Brote von totaler Vermahlung des oberflächlich gereinigten Kornes, wie auch dekortizierte Mehle verschiedenen Enthülsungsgrades mit inbegriffen werden. Die Propaganda für Vollkorn wird von manchen Produzenten mit übermäßigen Anpreisungen betrieben, auch wenn ihre Produkte von einer vollkommenen Vermahlung des Getreides weit entfernt sind. Günstige gesundheitliche Erfahrungen werden über Vollkornbrote mitgeteilt, obschon solche Präparate, wie wir jetzt wissen, für eine vollkommene Vermahlung gar nicht Gewähr leisten und ein mehr oder minder großer Anteil der Kleie beseitigt ist. Würde man die bisher auf den Markt gebrachten Vollkornbrote genau untersucht haben, so würden sich genügend Beweise für den schwankenden Charakter solcher Brote gefunden haben. Man kann Vollkornbrot in die Hände bekommen, das überhaupt nur einem Ausmahlungsgrad von 80 Prozent entspricht. Wollte man sich streng an das Wort halten, so dürfte man nur solches Mehl Vollkornmehl heißen, dem nichts, was das Getreidekorn in natura umfaßt, fehlt. Solche Brotsorten sind auch wirklich hergestellt und in den Handel gebracht worden.

Dekortiziert man aber, so läßt sich die Grenze schwer ziehen, bis wie weit man diese „Reinigung" des Kornes treiben darf. Jedenfalls geschieht es sehr ungleich und dadurch allein werden sich schon Unterschiede in der Beschaffenheit der Brote gründen. Dieser ungleichen Bearbeitung des Kornes muß man also eine sehr weitgehende Beachtung bei Vergleichen von Ergebnissen untereinander schenken. Dabei darf man sich aber auf bloße Angaben über die Ausmahlungsweise nicht verlassen, sondern man wird die eigenen Analysen zugrunde zu legen haben.

Bei dieser Sachlage wäre es erwünscht, eine eingehende Untersuchung von Brotsorten verschiedener Herstellung aus Roggenmehl näher auszuführen; denn gerade über diese wichtige Frucht, die heutzutage wenigstens erhöhte Bedeutung erlangt hat, ist eine neue und eingehende Prüfung unbedingt nötig. Von den zahlreichen Experimenten, die von Wicke, Prausnitz,

Plagge, Lebbin bis herauf auf die „modernen Versuche“ von Hindhede usw. gilt gemeinsam das, was ich in vorstehendem auseinandergesetzt habe — man kommt darüber nicht hinaus, daß man eben eine große Zahl von Einzelfällen vor sich hat, über deren abweichende Resultate man genaue Gründe nicht angeben kann. Nur das allgemeine Resultat bleibt bei dem, was der eine von uns schon vor Jahrzehnten gesagt hat, die Ausnützung hängt mit der Zellmembran im Brote zusammen, wie eben die neuesten Versuche des einen von uns gezeigt haben, freilich nicht so direkt und nicht so ausschließlich, wie man früher angenommen hat. Für Weizenbrot hat der eine von uns bereits die Richtlinien gegeben, sie auch für den Roggen näher aufzufinden, soll Aufgabe der nachfolgenden Versuche sein.

Über ausschließliche Ernährung mit Roggenbrot werden in folgendem sechs Versuchsreihen von je einer Woche, mindestens an zwei Personen gleichzeitig ausgeführt, mitgeteilt.

Der Anlaß zu den Versuchen war eine Anregung aus der Kriegspraxis, die Gelegenheit erlaubte es aber, sie zugleich einem wissenschaftlichen Zweck nutzbar zu machen für die Erweiterung unserer Erkenntnis der Verdaulichkeit unserer Nahrungsmittel, wie sie nach neuen Gesichtspunkten in den vorhergehenden Abhandlungen dieser Zeitschrift durchgeführt wurden. Zu einer solchen Klärung der Resorptionsvorgänge sind bis jetzt wichtige Anfänge gemacht, es ist aber weiter wichtig, durch zahlreiche Untersuchungen den Boden fester zu gestalten.

Die erste Reihe über Vollkornbrot aus Roggen stehen für sich und sind aus demselben Ausgangsmaterial durchgeführt. Die vier weiteren Versuche bilden dann eine andere Gruppe, wieder mit einem gleichen Roggen, aber von anderer Herkunft, wie bei den Vollkornbroten hergestellt.

Die Bedeutung des Brotes kann durch nichts besser hinsichtlich der Volksernährung erwiesen werden, als durch die Leichtigkeit, mit der hier ein Versuch von ununterbrochen 6 wöchentlicher Dauer durchgeführt wurde. Auf Stoffwechselfragen wird am Schlusse im Zusammenhang näher eingegangen werden.

A. Versuche mit sogenanntem Vollkornbrot.

Bei dem nachfolgenden Versuche gehören die zwei ersten Reihen inniger zusammen, sie sind aus einem praktischen Grunde entstanden und als Prüfung der Frage anzusehen, ob die übliche trockne Vermahlung des Kornes Nachteile hat gegenüber einer Zermahlung im feuchten Zustande, wobei das Getreide (Growittverfahren) nach einer äußerlichen Reinigung auf nassem Wege durch ein Walzenwerk geht und mit Verlust eines geringen

Teils der Hülsen zu Teig verarbeitet wird, der hierauf unmittelbar in die Bäckerei gelangt. Es wird angenommen, daß bei diesem Quetschen der Zellmembranen die Kleiezellen in höherem Maße als durch anderweitiges Verfahren geöffnet werden und die Verdaulichkeit des Kleieeiweißes also sich steigert. Die beiden Reihen sollen durch den genau durchgeführten Vergleich entscheiden, welche Vorteile tatsächlich der feuchten Vermahlung zukommen, im Sinne der allgemeinen Betrachtung sollten diese Versuchsreihen als zwei Beispiele für Roggenvollbrot gelten. Streng genommen trifft dies nicht zu.

Über die Bedeutung solchen Brotes, hergestellt durch feuchte Vermahlung, sind bereits von zwei Seiten Mitteilungen gemacht worden, so von Zuntz und von R. O. Neumann.[1] Ein Vergleich mit unseren Ergebnissen läßt sich nicht anstellen, da die Untersuchungen nicht mit den gleichen Methoden ausgeführt sind und bei O. Neumann das Brot als Teil der auch Fleisch und Käse enthaltenden Nahrung erscheint und deshalb die Ergebnisse mit unseren Versuchen, die reine Brotversuche sind, nicht in Parallele gestellt werden können, ferner auch Fragen über die Bildung von Stoffwechselprodukten bei einer komplizierten Nahrung nicht zu lösen sind.

Zusammensetzung des Roggens für Versuch I u. II.

Als Ausgangsmaterial für die ersten zwei Versuche diente Roggen, von dem von uns ein Teil in einer elektrisch betriebenen Laboratoriumsmühle zermahlen und dann in der gleichen Weise analysiert wurde, wie dies später mit den Brotsorten geschah. Der Mahlversuch im großen sollte auch das Abfallgut quantitativ gewinnen lassen, doch überzeugten wir uns, daß solchen strengeren Anforderungen genügende Vermahlungen nicht ausführbar waren, weshalb auf diese mehr technisch interessante Nebenfrage verzichtet werden mußte. Das im Laboratorium hergestellte Mehl hatte 91·65 Prozent Trockensubstanz. Seine sonstige Zusammensetzung ergibt sich aus nachstehender Tabelle.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

Asche	2·02
Organisch	97·98
Pentosan	9·77
N	1·52 = 9·49 Protein
Zellmembran	7·70 mit 2·68 g Pentosan
Zellulose	1·95
Restsubstanz	2·51
Fett	1·55
Verbrennungswärme	427·1

[1] *Viertelj. f. gerichtl. Med.* 1916. Bd. LIII. S. 91.

In 100 Teilen Zellmembran waren:

Zellulose	27·31
Pentosan	37·74
Restsubstanz	34·95

In der Zellmembran blieben nur rund 11·4 Prozent des Gesamtstickstoffs des Roggens auch nach Pankreasverdauung unlöslich, soviel an N muß also mindestens in den Kleiezellen eingeschlossen gewesen sein. Von dem Gesamtpentosan waren 27·41 Prozent in der Zellmembran enthalten.

Trockne Fabrikvermahlung des Roggens zur Herstellung von „Vollkornbrot".

Von diesem Roggen wurde in der Mühle der Fabrik Gr. Mehl hergestellt, wobei eine uns unbekannte Menge an Kleie abfiel, es sollte jedoch mit geringem Verlust vermahlen werden, um ein „Vollkornbrot" zu gewinnen. Aus dem Mehl wurde dann Brot für 6 Tage hergestellt und von drei Versuchspersonen verzehrt.

Das Brot gab aber nicht etwa ein Gebäck, das ganz mit dem Roggenmehl übereinstimmte, sondern ein zweifellos Zellmembran ärmeres Produkt, d. h. es sind mehrere Prozente von den Hülsen offenbar abgeschieden worden, so daß im wahren Sinne des Wortes kein Vollkornbrot, sondern ein mehr oder weniger an Hülsen ärmeres Brot gewonnen worden war; wie wir bemerken wollen, wäre die Prüfung des Spezialbrotes zuungunsten des Fabrikanten ausgefallen, wenn wir uns, wie es sonst wohl geschehen mag, nur auf seine Angaben ohne nähere Prüfung hätten verlassen müssen. Das Brot war ausgezeichnet, schmeckte sehr gut, nur erzeugte es, wie alle Brote dieser Art viel Kot und erhebliche Gasentwicklung im Darm, was natürlich besonders dann sehr in Frage kommt und unangenehm wird, wenn die täglich genossene Brotmenge wie beim Arbeiter in Friedenszeiten eine reichliche ist.

Zusammensetzung des Roggenbrotes im einfach vermahlenen Korn mit etwas Schalenabfall.

In 100 Teilen Trockensubstanz:

Asche	2·39
Organisch	97·61
Pentosan	6·72
N	1·28
Zellmembran	5·61 mit 1·89 Pentosan
Zellulose	1·93
Restsubstanz	1·79
Kalorien	412·1

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose . . . . 34·40
Pentosan . . . . 33·63
Restsubstanz . . . . . . 31·97

Die Menge der Zellmembran ist nicht unerheblich kleiner als bei der Kornprobe, auch der N-Gehalt ist etwas geringer. Vom Pentosan sind 28·1 Prozent in der Zellmembran. Das ist weniger als man bei Weizenmehl in den Hülsen findet und hängt wohl damit zusammen, daß der Roggen an sich mehr Pentosen einschließt, welche nicht in der Zellmembran liegen und wohl zu den gummiartigen Stoffen gehören, welche schon Ritthausen erwähnt hat.[1] Bei den Analysen sind diese schlechtfiltrierenden Körper vielfach sehr störend gewesen.

1. Woche. L.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	613	102	100	7459	1243	—
Trockensubst.	98·0	600·7	100·1	62·78	4684	761	12·8
Asche . . .	7·0	43·0	7·2	1·63	121·6	20·3	35·3
Organisches .	91·0	556·3	92·9	61·15	4562·4	760·4	12·1
N	3·84[2]	21·46	3·58	0·807	60·21	10·04	35·7
Pentosan . .	13·0	79·69	13·28	4·25	317·0	52·8	25·1
Stärke . . .	17·5	107·3	17·9	49·0	3666	611	2·9
Zellmembran.	26·00	159·3	26·02	3·58	261·0	43·5	60·0
darin							
Pentosan .	6·89	42·23	7·03	1·20	89·5	14·91	47·1
Zellulose .	10·50	64·34	10·71	1·21	90·25	15·03	70·58
Restsubst. .	8·61	52·77	8·28	1·17	81·30	13·60	60·90
Kalorien . .	464·0	2844·52	474·1	262·0	19543	3257	14·5

O.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	520	86·7	100	8213	1369	—
Trockensubst.	96·8	503·5	83·9	62·78	5158	860	9·7
Asche . . .	8·3	43·3	7·2	1·63	133·9	22·3	32·3
Organisches .	88·5	460·2	76·7	61·15	5025·1	837·7	9·1
N	5·21	26·21	4·36	0·807	66·20	11·03	39·5
Pentosan . .	11·30	58·76	9·79	4·25	349·0	58·2	16·8
Stärke . . .	8·5	43·9	7·3	49	4036	673	1·1
Zellmembran.	28·55	148·5	24·74	3·58	294·0	49·0	50·5
darin							
Pentosan .	9·50	49·4	8·24	1·20	98·5	14·7	56·0
Zellulose .	10·63	55·27	9·21	1·21	99·39	16·56	55·78
Restsubst. .	8·92	43·8	7·29	1·17	96·1	17·70	41·2
Kalorien . .	493·5	2566·2	427·7	262·0	21520	3587	11·9

[1] S. Ritthausen, *Die pflanzlichen Eiweißstoffe.* — Rubner, *dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 131.

[2] In der Trockensubstanz bestimmt.

Sch.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	409	68	100	6138	1023	—
Trockensubst.	95·3	389·9	65·0	62·78	3855	643	10·1
Asche . . .	9·5	38·86	6·48	1·63	100·1	16·7	38·8
Organisches .	85·8	351·0	58·5	61·15	3754·9	625·8	9·3
N	5·7[1]	19·77	3·30	0·807	49·43	8·24	39·9
Pentosan . .	13·6	55·62	9·24	4·25	260·9	43·5	21·3
Stärke . . .	8·8	36·0	6·0	49·0	3016	503	1·2
Zellmembran.	30·27	123·9	20·18	3·58	219·7	36·6	56·2
darin							
Pentosan .	10·14	41·5	6·89	1·20	73·6	12·3	56·0
Zellulose .	10·55	43·1	7·17	1·21	74·2	12·4	57·96
Restsubst. .	9·58	39·3	6·42	1·17	71·9	11·9	53·90
Kalorien . .	446·4	1825·8	304·3	262·0	16080	2680	11·4

Versuchsreihe II. Korn feucht vermahlen.

Vom gleichen Roggenvorrat, der zur 1. Versuchsreihe gedient hatte, wurde ein entsprechender Anteil nach dem Growittverfahren nach Beseitigung eines Teils der äußersten Schale des Korns zu Teig verarbeitet, die Abfälle ließen sich auch dabei nicht genau quantitativ bestimmen, so daß für unsere Versuche nur eben das fertige Produkt — das Brot — in Betracht kommt. Von den Versuchspersonen schied L. aus, mithin verblieben die Personen Oe. und Sch., diese wie alle späteren Versuche dauerten 6 Tage. Das Brot enthielt so viel Zellmembran wie das Roggenmehl, welches im Laboratorium vollkommen zermahlen worden war, doch finden sich, wenn man dieses Mehl mit dem aus trocknen Roggen hergestellten Brot und mit dem auf feuchtem Wege zermahlenen Material hergestellten Brote vergleicht, einige Unterschiede.

Von 100 Teilen Trockensubstanz waren an Pentosan in der Zellmembran:

im Roggen . . . . 2·69 g
bei trockner Vermahlung . . . . . 1·80 „
bei feuchter Vermahlung . . . . . . 3·47 „

Bei trockner Vermahlung war also Pentosan in Zellmembran weniger vorhanden, was seine Erklärung findet durch die Entfernung eines Teils der Kleie. Auch bei der feuchten Vermahlung gibt es Abfälle, hier aber fällt das Ergebnis anders aus, es ist etwas mehr Pentosan in der Zellmembran geblieben.

Folgende Zusammenstellung gibt eine weitere Übersicht.

[1] In der Trockensubstanz bestimmt.

In 100 Teilen Trockensubstanz ist enthalten:

	An Pentosan	An Pentosan in Zellmembran	An Pentosan im zellmembranfreien Mehl	Von 100 Pentosan d. Mehls ist in der Zellmembran	Zellmembran überhaupt
Roggenkorn	8·26	2·69	5·57	32·6	7·14
trocken vermahlen . .	6·76	1·80	4·96	26·6	5·68
feucht vermahlen . . .	8·76	3·47	5·29	40·4	8·75

Je nach der Art der Abscheidung der Zellmembran verhalten sich die Produkte hinsichtlich der Pentosananteile, die in der Zellmembran enthalten sind, verschieden.

Die bei den drei Mahlverfahren gewonnenen Zellmembranen enthielten:

In 100 Teilen trocken

	Zellulose	Pentosan	Rest
Roggen, im Laboratorium gemahlen . .	27·31	37·74	34·95
Roggen, in der Fabrik gemahlen . . .	34·40	33·63	31·97
Roggen, feucht vermahlen	28·23	39·70	32·25

Bei der Vermahlung im Laboratorium und in der feuchten Vermahlung stimmt die Zellmembran fast ganz überein, bei der trocknen Vermahlung in der Fabrik war etwas gröbere Zellmembran, d. h. Kleiezellen entfernt worden.

Man ersieht daraus, wie leicht bei der Vermahlung Ungleichheiten der Zusammensetzung entstehen können, die unter Umständen auf die Versuchsergebnisse einen bestimmenden Einfluß gewinnen können. Natürlich muß man auch offen lassen, daß das Mahlgut nicht immer ganz gleich zusammengesetzt war, wenn es auch einem angeblich gleichen Vorrat entnommen war, es wäre notwendig gewesen, persönlich die Mischung des Roggens vorzunehmen, was unausführbar war und ebensowenig sind derartige Apparaturen der Mühlen so eingerichtet, daß man an einen völlig einwandfreien quantitativen Versuch mit Bestimmung der Abfälle denken kann. Wir können, wie gesagt, nur von den Analysen des Brotes ausgehen.

Das Brot hatte in der Trockensubstanz folgende Zusammensetzung.

Zusammensetzung des Roggenbrotes aus feucht vermahlenem Korn (Growittverfahren).

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

Asche	2·06
Organisches	97·94

Pentosan	8·8
N	1·56
Zellmembran	8·75 mit 3·47 Pentosan
Zellulose	2·47
Restsubstanz	2·81
Kalorien	413·3

Die weiteren Ergebnisse bringen die nachstehenden Tabellen:

2. Woche. Oe.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	659	110	100	7827	1305	—
Trockensubst.	95·4	632·2	105·4	64·2	5029	838	12·5
Asche . . .	6·7	44·2	7·4	1·4	109·6	18·3	40·3
Organisches .	88·7	588·0	98·0	62·8	4819·4	803·2	12·2
N	4·70[1]	29·70	4·95	1·008	78·9	13·15	37·6
Pentosan . .	7·42	114·8	19·16	5·65	442·2	73·7	25·8
Stärke . . .	9·7	64·0	10·7	52	4092	682	1·6
Zellmembran.	33·03	217·6	36·2	5·60	450·2	75·1	49·5
darin							
Pentosan .	11·26	74·5	12·4	2·22	172·1	28·7	43·2
Zellulose .	10·10	66·5	11·1	1·58	123·7	20·6	53·9
Restsubst. .	11·67	76·6	12·7	1·80	154·4	23·8	53·3
Kalorien . .	484·1	3195	532·5	269·2	21066	3511	15·2

Sch.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	529	88	100	6629	1105	—
Trockensubst.	94·3	499·1	83·2	64·22	4256	709	11·7
Asche . . .	8·0	42·3	7·1	1·40	92·8	15·5	45·6
Organisches .	86·3	456·8	76·1	62·82	4163·2	693·9	10·9
N	5·05[1]	20·86	3·44	1·008	60·8	10·14	32·6
Pentosan . .	15·2	80·3	14·3	5·65	374·5	62·4	21·4
Stärke . . .	8·7	46·1	7·7	52	3461	577	43
Zellmembran.	31·39	166·0	27·6	5·60	371·1	61·8	44·6
darin							
Pentosan .	9·64	47·8	7·97	2·22	147·1	24·5	32·5
Zellulose .	9·50	50·2	8·3	1·58	104·7	17·4	47·7
Restsubst. .	12·85	68·0	11·3	1·80	119·3	21·9	51·5
Kalorien . .	481·2	2550	425·0	269·2	17840	2973	14·3

Die beiden Versuchsreihen I und II gehören inhaltlich zusammen, denn sie sollten die Frage lösen, ob durch die feuchte Vermahlung ein anderes Ergebnis der Verdaulichkeit des Brotes erzielt wird, als durch die trockne Vermahlung. Wenn man in der sonst üblichen Weise die Ergebnisse sich gegenüberstellt, so würde folgendes nachzuweisen sein.

[1] In der Trockensubstanz bestimmt.

Auf je 100 g der Einnahme gingen zu Verlust:

Trocken gemahlen. 1. Woche.

Prozent-Verlust für	Trocken-substanz	Asche	Organ. Substanz	N	Stärke	Gesamt-Pentosan	Kalorien
bei L.	12·8	35·3	12·1	35·7	2·9	25·1	14·5
bei Oe.	9·7	32·3	9·1	39·5	1·1	16·8	11·9
bei S.	10·1	38·8	9·3	39·9	1·2	21·3	11·4
Mittel:	10·6	35·5	10·2	38·4	1·7	21·1	12·6
Desgl. (das gleiche Korn) feucht zermahlen. Growitt, 2. Woche.							
bei Oe.	12·5	40·3	12·2	37·6	1·6	25·8	15·2
bei S.	11·7	45·6	10·9	32·6	1·3	21·4	14·3
Mittel:	12·1	42·9	11·6	35·1	1·5	23·6	14·8

Es ist das Mittel für die drei bzw. zwei Versuchspersonen gezogen worden. Was die Versuche anlangt, so sind diese für die Asche, organische Substanz, für Pentosan und Kalorien etwas ungünstiger bei der feuchten Vermahlung als bei dem trocknen Verfahren; nur in der Aufnahme des N wäre ein kleiner Vorteil auf seiten der feuchten Vermahlung vorhanden. Dieses Urteil, obschon es der allgemeinen Auffassung entspräche, ist nicht richtig, weil bei der trocknen Vermahlung ein Brot gewonnen worden war, das weniger Zellmembranen einschloß und schon deshalb im Vorteil gegenüber dem Growittbrot war.

Die mittlere Resorbierbarkeit der Zellmembran und ihrer Bestandteile bei den beiden Brotsorten zeigt folgende Verhältnisse:

Von 100 Teilen Trockensubstanz sind verloren:

	Versuch mit trockner Vermahlung (Vers. I)	Versuch mit feuchter Vermahlung (Vers. II)
Zellmembran	47·0	55·5
Pentosan der Zellmembran .	37·8	53·1
Zellulose	50·8	61·4
Restsubstanz	52·4	52·0

Das Brot mit feuchter Vermahlung enthielt also nicht nur mehr Zellmembran als das mit trockner Vermahlung, sondern auch eine Zellmembran, welche schwerer resorbierbar war. Dieser Vorzug der trocknen Vermahlung ist nur ein zufälliger und beruht, wie schon erwähnt, auf der Abscheidung von Kleie, die eigentlich, wenn ein wirkliches Vollkornbrot hergestellt worden wäre, im Mehl hätte verbleiben müssen.

Weiter kann man die N-Verluste etwas näher betrachten. Die ausgeschiedene Zellmembran enthält noch N, dieser ist wesentlich in der Zell-

membran eingeschlossen oder haftet dieser fest an, gibt also einen ungefähren Anhaltspunkt für die wahren Proteinverluste.

Es wurde gefunden:

Reihe	Person	In 100 tr. Kot ist Protein	Kotmenge pro Tag	Protein im Kot pro Tag	= N	Gesamt-N im Kot	Stoffwechsel-N im Kot
I	Sch.	20·4	65·0	13·3	2·1	3·30	1·20
	L.	14·4	100·1	14·4	2·3	3·58	1·28
	Oe.	17·8	83·9	14·9	2·4	4·36	2·00
II	Sch.	19·2	83·2	16·0	2·55	3·44	0·89
	Oe.	20·7	105·4	21·8	3·49	4·95	1·46

Nimmt man nur die Mittelwerte der Personen Oe. und Sch., und vergleicht N-Aufnahme im Brot und Proteinverlust im Kot, so hat man

Reihe	Aufnahme g N	Verlust an Protein-N im Kot g	Prozent Verlust an Protein
I	9·63	2·25	23·4
II	11·64	3·02	25·9

Das Resultat beider Reihen zeigt also, daß kein Unterschied im Proteinverlust ist, ob trocken oder feucht vermahlen wird; die etwas ungünstigen Werte bei feuchter Vermahlung können nicht gegen das System der feuchten Vermahlung ausgewertet werden, sie liegen einfach darin begründet, daß das Brot im Versuch mit feuchter Vermahlung mehr Vollkornbrot war wie das Brot mit trockner Vermahlung.

Über die Ausscheidung der Stoffwechselprodukte und den Verlust an Unverdautem gibt folgende Zusammenstellung Auskunft.

Reihe I.

Person	Verlust an Kalorien pro Tag				Kal. im Kot insgesamt	Kal. im Kot aus Stoffwechsel	Verzehrte Kal. im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. des Kotes treffen auf Stoffwechselprodukte
	durch Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
L.	73·4	141·3	24·5	239·2	474·1	234·9	3257	7·2 %	49·5
Oe.	29·9	134·2	6·2	170·3	427·7	257·4	2587	9·94 „	60·2
Sch.	34·0	111·8	9·0	154·8	304·3	149·5	2680	5·57 „	49·1

Für die Zellmembranen wurden die Verbrennungswärmen in einer Mischung aus gleichen Teilen der drei Versuchsreihen besonders bestimmt. Dies Verfahren ist berechtigt, da in allen anderen Versuchen fast völlig über-

einstimmende Zahlen für die organische Substanz der Zellmembran gefunden wurden.

Reihe II.

Person	Verlust an Kalorien pro Tag				Kal. im Kot insgesamt	Kal. im Kot am Stoffwechsel	Verzehrte Kal. im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechsel-produkte	Von 100 Kal. des Kotes treffen auf Stoffwechsel-produkte
	durch Stärke	Zell-membran	Pentosan	Summe					
Oe.	43·8	197·5	26·1	265·4	532·5	267·1	3511	7·60 %	50·1
Sch.	31·6	150·6	24·5	206·7	425·0	218·3	2973	7·34 „	51·3

Der weitere Vergleich zeigt im Mittel für die Personen Oe. und Sch.

	Prozent-Verlust an Kal. als Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. entfallen auf Stoffwechselprodukte
Reihe I	7·75	54·6
Reihe II	7·47	50·7

Die Brote verschiedener Verarbeitung zeigen also keinen Unterschied in der Bildung von Stoffwechselprodukten, die größere Zellmembranmenge des Brotes bei feuchter Vermahlung wird als unnötiger Ballast abgeschoben, daher das relative Sinken des Anteils der Stoffwechselprodukte in den Ausscheidungen.

Was den Geschmack des Vollkornbrotes anlangt, so war er ein recht guter, nur haben alle diese stark ausgemahlenen Roggenbrote den Nachteil einer starken Gasentwicklung, wobei lautes Gurren im Darm und starker Abgang von Gasen auftritt. Der letztere ist so reichlich, daß damit vielfach eine entschiedene Belästigung verbunden ist und daß diese, kurz gesagt, den ästhetischen Anforderungen, die man gemeinhin im Verkehr Gebildeter zu stellen pflegt, vollkommen widerspricht. Die Gase sind von Haus aus nichtriechende Gase; da sie aber aus dem Kote sich entwickeln, nehmen sie den Fäkalgeruch an und machen sich im geschlossenen Raume, besonders wenn viele Personen vorhanden sind, wohl wahrnehmbar. Je nach dem Bildungsgrad und Lebensweise des einzelnen fällt das Urteil über diese Frage natürlich verschieden aus, jedenfalls liegt es in der Tendenz unserer ästhetischen Auffassung, solche Nahrungsgemische zu vermeiden, die durch die Flatulenz sich stärker bemerkbar machen. Der eine von uns hatte auch Gelegenheit, bei zwei Personen, die vor Jahren Darmoperationen durchgemacht hatten, sich zu überzeugen, daß hier die Darmschmerzen bis zur Unerträglichkeit sich steigern können. Der Verzicht auf Brot wird dem Genuß der blähenden Nahrung vorgezogen.

B. Versuche über Kartoffelzusatz bei verschiedenem Kleiegehalt des Mehles.

Der Roggen wird in der Regel nicht in so vielerlei Mehle zerlegt wie der Weizen. Wir hatten noch Gelegenheit, Brote zu untersuchen, die durch das Institut für Getreideverarbeitung in bestimmter Ausmahlung hergestellt worden waren, nämlich Ausmahlungsgrade bis 65 Prozent und bis 82 Prozent. Im Vergleich dazu dieselben Mehlsorten mit 20 Prozent Zusatz von Kartoffelmehl. Der Roggen selbst wurde nicht untersucht, nur die fertigen Brote; bei den Analysen der Zellmembran fiel eine unangenehme Eigenschaft des Roggens hier mehr auf, als sie schon bei den ersten Versuchen entgegengetreten war. In dem Brote war eine zähe klebrige Substanz vorhanden, die manchmal die Filtration ungemein erschwerte, es handelt sich offenbar um recht kleine Mengen dieses Körpers, besonders bei dem Brot mit 65 Prozent Ausmahlung war die Störung empfindlicher als bei der höheren Ausmahlung. Es gelang aber, der Schwierigkeiten Herr zu werden.

Versuch III: Brot aus Roggen mit 65 Prozent Ausmahlung.

Das Brot ist auffallend weiß, man würde es nicht für ein Gebäck aus Roggen halten. Das Brot ist wohlschmeckend, trocknet aber merkwürdig rasch aus. Die Zusammensetzung seiner Trockensubstanz gibt nachfolgende Tabelle:

Roggenbrot (Ausmahlung 65 Prozent).

In 100 Teilen Trockensubstanz sind enthalten:

Asche	0·85
Organisch	99·15
N	1·03
Pentosan	4·16
Zellmembran	3·14 mit 0·61 g Pentosan
Zellulose	1·36
Rest	1·17
Verbrennungswärme	414·4

In 100 Teilen Zellmembran findet sich:

Zellulose	43·36
Pentosan	19·42
Rest	37·22

Die Menge des Proteins ist gering, die Zellmembran noch nicht halb so groß wie im reinen Vollkornbrot. Die Zusammensetzung weicht von der Zellmembran eines Vollkornbrotes ab, die Pentosanmenge sinkt und die

Menge der Zellulose steigt relativ an. Es liegen also hier die Verhältnisse wie zwischen der Zellmembran des Weizenvollbrotes und des Brotes aus feinem Weizenmehl; die übrigen Zahlenwerte sind in nachstehender Tabelle enthalten. Eine Besprechung der Ergebnisse soll gemeinsam mit den nachfolgenden Versuchen der Roggen- und Kartoffelmehlmischung vorgenommen werden.

3. Woche. Oe.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	445	74·2	100	7573	1262	
Trockensubst.	97·7	434·8	72·5	62·52	4733	789	9·2
Asche . . .	4·9	21·8	3·6	0·58	43·9	7·3	49·7
Organisches .	92·8	413·0	68·9	61·96	4689·1	781·7	8·8
N	4·38	19·49	3·25	0·648	49·07	8·2	39·7
Pentosan . .	14·7	65·4	10·9	2·60	196·9	32·8	33·2
Stärke . . .	19·4	86·3	12·7	55·0	4182·1	697	2·1
Zellmembran.	18·29	81·38	13·57	1·96	148·3	2472	54·9
darin							
Pentosan . .	4·32	19·21	3·20	0·38	28·74	4·79	66·7
Zellulose . .	9·83	43·74	7·27	0·85	64·38	10·73	67·7
Restsubstanz	4·14	18·43	3·07	0·73	55·2	9·20	33·3
Kalorien . .	486·1	2163	360·5	259·1	19615	3270	11·0

Sch.

	Kot Prozent	Kot g	Kot g im Tag	Brot Prozent	Brot g	Brot g im Tag	Prozent Verlust
Menge . . .	100	241	40·1	100	6249	1042	
Trockensubst.	97·3	233·5	38·9	62·52	2906	651	6·0
Asche . . .	8·1	19·4	3·2	0·58	36·2	6·0	53·6
Organisches .	89·2	214·1	356·7	61·94	3869·8	645·0	5·5
N	6·19	14·91	2·47	0·648	41·59	6·93	35·9
Pentosan . .	11·44	27·5	4·6	2·60	162·5	27·1	16·9
Stärke . . .	7·90	19·0	3·2	55·0	3451	575	0·6
Zellmembran.	21·06	50·75	8·44	1·96	122·5	20·41	41·3
darin							
Pentosan .	5·86	14·11	2·35	0·38	23·8	3·96	59·3
Zellulose .	6·40	15·42	2·56	0·85	53·1	8·85	18·9
Restsubst .	8·80	21·22	3·53	0·73	45·6	7·60	46·4
Kalorien . .	514·5	1240	206·7	259·1	16188	2698	7·7

Versuchsreihe IV.

Brot aus Roggen (65 Prozent) Ausmahlung + 20 Prozent Kartoffelmehl.

Über das deutsche Kriegsbrot, das als Roggenbrot unter Kartoffelzusatz hergestellt wurde, sind eine Reihe von Beobachtungen angestellt worden, die aber keineswegs die Bedeutung voll erklären. Der Verlauf des Krieges hat gezeigt, daß die Wahl und namentlich die Beibehaltung dieser Backweise ein Mißgriff war. Es war ja in ernährungsphysiologischen und

hygienischen Kreisen von Anfang an als keine glückliche Lösung angesehen worden. Keinesfalls war seine Beibehaltung über die Ernte 1915/16 hinaus berechtigt, da man schon damals, zumal für die übermäßig gekürzte Brotration zureichend Getreide besessen hätte, um die alte Backweise einzuhalten. Nur der Kartoffelmangel 1917 gibt Anlaß, die Kartoffel aus dem Brote wegzulassen. Die Güte des Brotes hatte durch die schlechte Technik des Backens und durch die mißbräuchliche Verwendung großer Kartoffelzusätze sehr gelitten, reichliche Mengen von Brot sind im genußunfähigen Zustande in den Handel geliefert worden und zu Verlust gegangen.

Wenn man das Kartoffelbrot in seiner Verdaulichkeit als die Wirkung der Mischung von Getreidemehl und Kartoffelsubstanz betrachten dürfte, so erübrigen sich Versuche am Menschen überhaupt, denn die Brot- und Kartoffelausnützung sind beide bekannt. Es ist aber unsere Kenntnis von diesen Vorgängen keineswegs so sicher gestellt, daß wir mit Bestimmtheit sagen können, was der Effekt der Mischung im Darm sein wird. Die Kartoffel, in kleinen Mengen genossen, hat eine günstige Ausnützung, die zum Teil mit der geringen Menge Zellmembran der Kartoffel und deren leichten Löslichkeit zusammenhängen dürfte. Doch läßt sich, was von besonderer Bedeutung ist, die Rückwirkung auf die Bildung von Stoffwechselprodukten nicht im voraus beurteilen. Insofern wird also die gesonderte und eingehende Prüfung eine physiologische Bedeutung haben.

Was die Wirkung des Kartoffelzusatzes im vorliegenden Falle anlangt, so geben die nachfolgenden Reihen darüber einen genauen Einblick. Das Brot hatte durch den Zusatz von Kartoffeln noch etwas an weißer Farbe gewonnen, im Geschmack war es nicht wesentlich verändert und trocknete nicht so schnell aus wie die Sorte ohne Kartoffelzusatz, doch können hier Zufälligkeiten mitgespielt haben.

Die Zusammensetzung war folgende:

Zusammensetzung des Brotes aus 65 Prozent ausgemahl. Roggen und 20 Prozent Kartoffelmehl (IV).

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

Asche	1·31
Organisch	98·69
N	1·03
Pentosan	4·06
Zellmembran	3·22 mit 0·51 g Pentosan
Zellulose	1·81
Restsubstanz	0·90
Kalorien	418·1

In 100 Teilen Zellmembran findet sich:

Zellulose . . . . 56·21
Pentosan . . . . 15·98
Restsubstanz . . . . . . 27·81

Die Versuchspersonen aßen das Brot ebenso gerne wie das vorhergehende ohne Kartoffelzusatz, nur bei langem Kauen bemerkt man einen Unterschied im Geschmack. Die Ausscheidungen boten in ihrem Äußeren keine sichtliche Veränderung.

Der Zellmembrangehalt hat sich nicht verändert, es ist von vornherein nach der Zusammensetzung der Kartoffel auch nicht anzunehmen, daß hier Unterschiede auftreten, nur die Zellulose ist etwas reichlicher vertreten, was sich aus der Zusammensetzung der Zellmembranen der Kartoffel erklärt. im Pentosangehalt sind die Verschiedenheiten unbedeutend. Das Zellmembrangemenge ist zellulosereich und pentosanarm, was im Einklang mit der Zusammensetzung der Zellmembran der Kartoffel steht.

Im folgenden lassen wir die Tabellen der Einzeluntersuchungen folgen.

4. Woche. Oe.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	400	66·7	100	6630	1105	—
Trockensubst.	98·8	395·0	65·8	61·30	4064	677	9·7
Asche . . .	5·6	22·8	3·8	0·67	44·4	7·4	51·4
Organisches .	93·2	372·2	62·0	5·63	4019·6	669·9	9·2
N	4·58	18·32	3·05	0·62	41·79	6·97	43·8
Pentosan . .	9·9	39·9	6·7	2·49	165·1	27·5	24·1
Stärke . . .	14·8	59·2	9·9	51·0	3350	558	1·8
Zellmembran.	24·88	99·52	16·55	1·97	130·5	21·7	76·2
darin							
Pentosan .	4·84	19·36	3·23	0·31	20·5	3·4	95·0
Zellulose .	16·21	64·84	10·81	1·11	73·5	12·6	85·7
Restsubst. .	3·83	15·30	2·55	0·55	36·0	5·7	44·7
Kalorien . .	482·6	1930	322	256·4	16999	2833	11·3

Sch.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	278	46·3	100	6453	1076	—
Trockensubst.	96·3	266·7	44·5	61·30	3956	659	6·2
Asche . . .	8·54	23·7	4·0	0·67	43·2	7·2	54·8
Organisches .	97·8	243·0	40·5	5·63	3912·8	652·1	6·2
N	6·03	16·77	2·80	0·63	40·61	6·77	41·2
Pentosan . .	9·36	26·0	4·3	2·49	160·7	26·8	16·1
Stärke . . .	7·40	20·6	3·4	51·0	3261	544	0·6
Zellmembran.	23·11	64·24	10·70	1·97	127·1	212	50·5
darin							
Pentosan .	5·81	16·14	2·69	0·31	20·0	3·30	80·8
Zellulose .	7·50	20·85	3·47	1·11	71·6	11·93	29·1
Restsubst. .	9·80	27·3	4·5	0·55	35·5	6·0	78·3
Kalorien . .	497·7	1383	231	256·4	16545	2758	8·3

Lassen wir nun die Ergebnisse beider Versuchsreihen (III und IV) in üblicher Weise folgen.

Zusammenstellung der Versuche III und IV.

Reihe	Prozent Verlust für	Trocken-substanz	Asche	Organ. Substanz	Stärke	N	Gesamt-Pentosan	Kalorien
III	bei Oe.	9·2	49·7	8·8	2·1	39·7	33·2	11·0
	bei Sch.	6·0	53·6	5·5	0·6	35·9	16·9	7·7
	Mittel:	7·6	51·6	7·1	1·3	37·3	25·0	9·35
IV	bei Oe.	9·7	51·4	9·2	1·8	43·8	24·1	11·3
	bei Sch.	6·2	54·8	6·2	0·6	41·2	16·1	8·3
	Mittel:	7·9	53·1	7·7	1·2	42·50	20·1	9·8

Das erste, was dabei auffällt, sind individuelle Unterschiede zwischen den beiden Versuchspersonen; Oe. zeigt in den wesentlichen Punkten — Trockensubstanz, Kalorien — eine um mehrere Prozente schlechtere Ausnützung als Sch. Unter den aufgeführten Stoffen verdaut Oe. merkwürdigerweise Stärke stets etwas schlechter als Sch. Er verdaut auch die Pentosane ganz erheblich weniger gut wie Sch. Die „Pentosane“ sind teils in der Zellmembran, teils frei in anderen Stoffen des Roggenmehles vorhanden; man wird daher die Frage aufwerfen können, ob sich etwa der Darm der beiden Personen ungleich auch zur Resorption der Zellmembran stellt. Wir schicken die Zusammensetzung der Zellmembran der Einfuhr und der Ausfuhr voraus.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

		Zufuhr	Ausfuhr Oe.	Ausfuhr Sch.	Mittel
Versuch III.	Zellulose	43·36	53·15	30·39	41·77
	Pentosan	19·82	23·30	27·85	25·57
	Rest	37·22	23·55	41·76	32·66
Versuch IV.	Zellulose	56·21	65·19	32·46	48·82
	Pentosan	15·98	19·88	25·14	22·51
	Rest	27·81	14·93	22·40	28·67

Die Ergebnisse zeigen, daß die eingeführten Zellmembranen sich unterscheiden; bei IV ist mehr Zellulose als in III vorhanden. Die zwei Personen liefern im Kot auch Reste der Zellmembran, die sich wesentlich unterscheiden. Sch. hat offenbar jedesmal bei III wie bei IV die verzehrte Zellmebran stärker angegriffen als Person Oe.

Was die Verdaulichkeit der Zellmembran betrifft, so haben die Versuche folgendes ergeben:

Verlust:

Reihe	Versuchsperson	Pentosan	Zellmembran	Zellulose	Pentosan in Zellmembran	Restsubstanz	Freies [1] Pentosan
III	Oe.	33·2	54·9	67·7	66·7	33·3	27·4
	Sch.	16·9	41·3	28·9	59·3	46·4	9·9
	Mittel:	25·0	48·1	48·3	63·0	39·8	18·6
IV	Oe.	24·1	76·2	85·7	95·0	44·7	14·5
	Sch.	16·1	50·5	29·1	80·8	78·3	6·8
	Mittel:	20·0	63·3	57·4	87·9	61·5	10·6

Person Oe. und Sch. verdauen die Zellmembranen verschieden. Sch. ist dem Oe. überlegen, besonders auffallend erscheint, daß Sch. direkt die Zellulose in hohem Grade, anzugreifen vermag während Oe. eine sehr dürftige Auflösungskraft zeigt. Und eines ist noch bemerkenswert, die Pentosane, die aus der Zellmembran frei werden, vermögen beide Personen nur schlecht zu resorbieren. In der Kartoffelbrotmischung bleibt von den Pentosanen, die in den Zellmembranen sind, mehr unresorbiert als beim reinen Roggenbrot. Von den freien Pentosanen resorbiert also die auch sonst mit besserem Resorptionsvermögen ausgestattete Person Sch. weit mehr als Person Oe. Die Besonderheit der individuellen Resorption ist also, wie sie sich im ganzen hinsichtlich der Zellmembran verschieden erweist, auch im einzelnen eine unterschiedliche.

Dieses Beispiel zeigt, wie wenig man aus Versuchen an verschiedenen Personen einen Vergleich der Resorptionsverhältnisse für Brotsorten verschiedener Herkunft ableiten kann, und daß gerade mit Rücksicht auf die Resorptionsfähigkeit von Zellmembranen erhebliche Differenzen vorkommen können. Man muß also in dem Resultate bei Brotversuchen einen ziemlichen Spielraum für die Individualität, d. h. wohl für die bakterielle Einwirkung auf das verzehrte Material einräumen. Damit fallen natürlich auch manche Diskussionen über Versuchsergebnisse zwischen einzelnen Autoren, speziell die vordringliche Art der Behauptungen von Hindhede, der seine Ergebnisse mit Vorliebe in den Vordergrund schiebt, als gegenstandslos in sich zusammen.

Vergleicht man die Ergebnisse des Brotes mit 65 Prozent Ausmahlung mit und ohne Kartoffelzusatz mit den Versuchen mit Vollkornbrot, so ist die Verwertung fast durchgängig besser bei dem weniger ausgemahlenen Brot. Trockensubstanz, Kalorien, organische Substanz wurden bei dem Vollkorn-

[1] Damit soll nur gesagt sein, wie auch im folgenden, daß das Pentosan nicht auf Zellmembran entfiel, nicht daß es sich um chemisch identische Substanzen handelt.

brot weniger gut verwertet, was man nach dem, was der eine von uns schon 1883 für Weizenbrot angegeben hat, als selbstverständlich bezeichnen könnte.

Allein der Gewinn an resorbierbaren Teilen erscheint doch nur sehr mäßig, bei den Pentosanen läßt sich ein durchgreifender Unterschied überhaupt nicht nachweisen und das Auffallendste ist das Verhalten der N-Ausnützung. In Versuch III erreicht sie nur die Ausnützung des Vollkornroggenbrotes und bei dem Kartoffelbrot IV ist sie sogar schlechter als jene der Vollkornbrote.

Die N-Ausnützung ist es auch, bei der in Versuch III und IV bei den beiden Versuchspersonen nur ganz unwesentliche Differenzen der Resorption nachzuweisen sind. Man sieht also, wie die einzelnen Nahrungsstoffe ein recht verschiedenes Verhalten aufweisen und wie man durch die weitgehende Zergliederung der einzelnen Bestandteile zu einem Verständnis kommen kann. Speziell für das Kartoffelbrot hätte man annehmen sollen, daß eher eine Verbesserung der N-Ausnützung eintritt, weil ja in der Kartoffel ein erheblicher Teil des N in Amidsubstanzen vorliegt, die zweifellos leicht resorbierbar sein müssen.

Der Weg zur Aufklärung läßt sich aber leicht finden, wenn man die Proteinmengen, die mit der Zellmembran zusammen ausgeschieden werden feststellt, wie es in unseren Versuchen geschehen ist und damit die Einnahmen vergleicht, dann hat man auch die Möglichkeit, den Teil N, der in Stoffwechselprodukten vorliegt, von der Gesamt-N-Ausscheidung zu trennen.

Die nachfolgende Tabelle gibt über diese Verhältnisse genaue Auskunft.

Übersicht über die N- und Proteinausscheidung im Kot.

Versuch	Versuchsperson	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot	N im Stoffwechselprodukt	N-Zufuhr	Prozent-Verlust an N in Zellmembran
III	Oe.	12·4	72·5	9·0	1·44	3·25	1·81	8·2	22·07
	Sch.	20·9	38·9	8·1	1·30	2·47	1·17	6·9	16·9
	Mittel					2·16	1·49	7·5	19·48
IV	Oe.	14·0	65·8	9·2	1·47	3·05	1·58	7·0	22·57
	Sch.	21·4	44·5	9·5	1·52	2·80	1·28	6·8	18·8
	Mittel					2·92	1·43	6·9	20·70

Aus dieser Darstellung ergibt sich: Beide Versuchspersonen zeigen sich in der Einweißresorption sehr verschieden, am besten resorbiert Sch., das war auch bei den Vollkornbroten schon zu bemerken. Das Protein des

Roggenbrotes (65 Prozent Ausmahlung) wird etwas besser resorbiert, als das des Vollkornbrotes, ersteres mit 19·5 Prozent Verlust, letzteres mit 25·9 Prozent Verlust.

Das ungünstige Resultat liegt zum Teil darin, daß die N-Stoffwechselprodukte relativ sehr reichlich hier vertreten sind. Immerhin ist auch ein Proteinverlust von 19 bis 21 Prozent ein recht reichlicher. Der Zusatz von Kartoffeln hat also jedenfalls eine günstigere Aufnahme der N-Substanz nicht herbeigeführt.

Die so sehr geringe Verbesserung der Proteinausnützung bei dem Roggenbrot mit geringer Ausmahlung ist jedenfalls auffällig und erinnert an die auf Grund anderer Ergebnisse von dem einen von uns geäußerte Meinung[1], daß die Verwertung des Roggenmehles doch geringer zu sein scheine, als Weizenmehl gleicher Ausmahlung.

Wie sich die Stoffwechselprodukte zur Gesamtmasse des Kalorienverlustes und zur Nahrung überhaupt verhalten, ergibt sich aus nachfolgender Zusammenstellung.

Reihe	Person	Verlust an Kalorien pro Tag				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien in Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. im Kot treffen auf Stoffwechselprodukte
		Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
III	Oe.	52·0	74·5	30·0	156·5	360·5	204·0	3270	6·24	66·6
	Sch.	13·1	46·3	9·0	68·4	206·7	138·3	2698	5·12	66·9
IV.	Oe.	40·6	91·0	13·6	145·2	322·0	176·8	2833	6·24	55·5
	Sch.	13·9	58·8	6·2	78·9	231·0	152·1	2758	5·51	65·8

Mittelwerte.

Reihe	Prozent Verlust an Stoffwechselprod.	Von 100 Kal. treffen auf Stoffwechselprod.	Gesamtkalorienverlust
III	5·68	66·7	9·35
IV	5·87	60·6	9·8
Vollkorn I	7·75	54·6	12·6
Vollkorn II	7·47	50·7	14·8

Die Menge der Stoffwechselprodukte hat zwischen den Versuchen III und IV einerseits, I und II andererseits nur wenig abgenommen, es zeigt das auch, daß die Zellmembranen nicht also das Entscheidende sind, sondern andere Eigenschaften der Nahrungsmittel, die Stoffwechselprodukte nehmen relativ in den Versuchen III und IV zu.

[1] Rubner, *Deutsche med. Wochenschrift.* 1915. Nr. 18—20.

Höhere Ausmahlung des Roggens auf 82 Prozent. Einfluß der Zugabe von Kartoffeln auf das Brot.

Im Anschluß an die vorherigen Experimente über relativ geringe Ausmahlung des Roggens wurden noch analoge Versuche mit einer höheren Ausmahlung ausgeführt, die etwa der Grenze der im dritten Kriegsjahr üblichen Ausmahlung entsprach (Reihe V) und zum Vergleich auch wieder Kartoffeln hinzugefügt (Reihe VI).

Versuchsreihe V.

Soweit die Geschmacksprobe in Betracht gezogen werden kann, war dies Brot in jeder Richtung das wohlschmeckendste, es hielt sich auch lange in trefflicher Beschaffenheit, die Zusammensetzung des Brotes war folgende:

Zusammensetzung des Brotes mit 82 Prozent Ausmahlung (V).

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

Asche	2·08
Organisches	97·92
N	1·61
Pentosan	8·25
Zellmembran	6·69 mit 2·36 g Pentosan
Zellulose	1·89
Restsubstanz	2·44
Kalorien	432·8

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	28·25
Pentosan	35·33
Restsubstanz	36·42

Die Menge der Zellmembran steht nur wenig hinter dem Vollkornbrot der Reihe II zurück, wobei allerdings bemerkt werden muß, daß die Beschaffenheit des Kornes, das zu diesen Versuchereihen Verwendung fand, nicht bekannt war, möglicherweise also einen anderen Zellmembrangehalt hatte. Die Zellmembran selbst unterscheidet sich nicht mehr wesentlich von einem Vollkornbrot überhaupt, der Zellulosegehalt ist gering, der Pentosan gehalt sehr hoch. Bei den Versuchen selbst ergab sich, soweit die Beobachtungen der Versuchspersonen in Betracht kamen, nichts Bemerkenswertes. Soweit unsere eigene Wahrnehmung reicht, zeigt das Brot allerdings bereits ziemliche Gasentwicklung im Darme, allerdings nicht in dem gleichen Maße wie Vollkornbrot. Die weiteren Ergebnisse mögen aus den nachfolgenden Tabellen entnommen werden.

5. Woche. Oe.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	571	95	100	6969	1167	—
Trockensubst.	99·0	503·5	83·9	59·4	4139·6	689·9	12·1
Asche . . .	6·4	36·5	6·1	1·1	76·7	12·8	47·6
Organisches .	92·6	467·0	77·8	58·3	4062·9	677·1	11·5
N	5·02	28·7	4·8	0·96	66·90	11·15	42·9
Pentosan	15·6	89·1	14·9	4·9	341·5	56·9	26·0
Stärke . . .	10·0	57·1	9·5	50·0	3484	581·0	1·6
Zellmembran.	32·00	182·7	30·4	3·97	274·66	45·77	66·4
darin							
Pentosan .	8·95	51·09	8·51	1·40	97·6	16·26	52·3
Zellulose .	11·33	64·59	10·76	1·12	83·6	13·01	82·7
Restsubst. .	11·72	66·9	11·1	1·45	101·0	16·8	66·1
Kalorien . .	498·4	2520·0	419·9	248·0	1728	2880	14·4

Sch.

	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	Prozent Verlust
Menge . . .	100	445	74·1	100	6555	1093	—
Trockensubst.	97·8	432·2	72·5	59·4	3893·7	649·0	11·1
Asche . . .	7·9	35·0	5·8	1·1	72·1	12·0	48·5
Organisches .	89·9	400·2	66·7	58·3	3821·6	637·0	10·4
N	5·35	23·8	4·0	0·96	62·93	10·49	37·8
Pentosan . .	14·6	65·0	10·8	4·89	320·5	53·4	20·2
Stärke . . .	7·7	34·3	5·7	50·0	3277	546	1·0
Zellmembran.	26·30	117·0	19·5	3·97	260·0	43·3	45·0
darin							
Pentosan .	6·58	29·27	4·88	1·4	91·8	15·3	31·2
Zellulose .	9·25	41·16	6·86	1·12	73·41	12·2	56·3
Restsubst. .	10·50	46·7	7·83	1·45	94·8	15·8	49·5
Kalorien . .	485·9	2162·3	360·4	248·0	16256	2708	13·3

Versuchsreihe VI.

Dasselbe Mehl wie in Versuch V hatte einen Zusatz von 20 Teilen Kartoffelmehl erhalten. Das Gebäck war entschieden von wenig gutem Geschmack, der ausgezeichnet würzige Eindruck des reinen Roggenbrotes V war verloren, was besonders bei gründlichem Durchkauen bei alleinigem Genuß des Brotes auffiel. Dies war um so bemerkenswerter, als wir bei der Ausmahlung von Roggen auf 65 Prozent das Kartoffelmehl-Roggengemisch entschieden als bessere Brotqualität beurteilt hatten. Es ist uns nicht bekannt, daß diese Unterschiede von anderer Seite schon Beachtung gefunden haben. Vorläufig können wir nur die objektiven Feststellungen anführen, ohne die Gründe für diese Rückwirkung des Kartoffelmehls auf stärker oder weniger stärker ausgemahlenen Roggen klarlegen zu können. Die weiteren Ergebnisse des Ernährungsversuchs haben nach anderer Richtung hin bestätigt, daß tiefere Untersechiede vorliegen.

Die Zusammensetzung des Brotes ergibt sich aus folgender Tabelle:

Zusammensetzung des Brotes mit 82 Prozent ausgemahlenem Roggen und 20 Prozent Kartoffelmehl.

In 100 Teilen Trockensubstanz ist enthalten:

Asche	2·24
Organisches	97·76
N	1·47
Pentosan	7·54
Zellmembran	6·77 mit 1·67 g Pentosan
Zellulose	3·62
Restsubstanz	1·48
Kalorien	402·0

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	53·47
Pentosan	24·67
Restsubstanz	21·86

N-Gehalt und Pentosangehalt sind gegenüber Versuch V kleiner, die Zellmembran enthält mehr Zellulose und weniger Pentosane als reines Roggenbrot. Über den Verlauf der 6tägigen Versuche an unseren beiden Versuchspersonen geben die nachfolgenden Tabellen genauen Aufschluß.

6. Woche. Oe.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge	100	610	102	100	6702	1117	—
Trockensubst.	98·7	602·1	100·4	57·0	3820·1	636·5	17·1
Asche	5·7	34·5	5·8	1·57	105·2	17·5	32·8
Organisches	93·0	567·6	94·6	55·43	3514·9	585·8	16·1
N	4·29	26·18	4·36	0·84	56·29	9·38	46·5
Pentosan	12·2	74·2	12·4	4·3	288·2	48·0	25·8
Stärke	13·8	84·2	16·0	45	3004	501	2·8
Zellmembran.	27·30	166·5	27·8	3·84	254·8	42·9	65·5
darin							
Pentosan	5·05	30·80	5·15	0·95	61·2	10·6	47·6
Zellulose	13·80	84·18	14·03	2·06	138·0	23·01	62·4
Restsubst.	8·45	51·5	8·61	0·83	55·6	9·26	92·9
Kalorien	468·9	2860·3	476·7	239·9	16070·4	2678·3	17·7

Sch.

	Kot			Brot			Prozent Verlust
	Prozent	g	g im Tag	Prozent	g	g im Tag	
Menge . . .	100	590	98	100	6604	1101	—
Trockensubst.	98·44	508·6	84·77	57·0	3764·3	627·4	13·5
Asche . . .	6·62	39·1	6·51	1·57	103·68	17·28	37·7
Organisches .	91·82	469·5	78·26	55·43	3660·62	610·1	12·8
N	4·68	27·62	4·60	0·84	55·47	9·25	48·7
Pentosan . .	13·0	76·6	12·8	4·3	284·0	44·0	27·0
Stärke . . .	12·7	74·9	12·5	45	2960	493	2·5
Zellmembran	30·06	177·3	29·55	3·84	253·6	42·3	69·9
darin . . .							
Pentosan .	6·05	35·69	5·95	0·95	62·7	10·5	56·6
Zellulose .	15·60	91·10	15·16	2·06	135·9	22·7	66·8
Restsubst.	8·41	49·44	8·24	0·83	54.8	9·1	90·5
Kalorien . .	470·4	2775·4	462·6	239·9	16051	2675·1	17·3

Zusammenfassung der Ergebnisse von Versuchsreihe V und VI.

Die Ergebnisse der beiden Reihen bringt nachfolgende Generaltabelle.

Zusammenstellung der Versuche V und VI.

V. Brot aus Roggen 82 prozentiger Ausmahlung; VI. dasselbe Mehl + 20 Prozent Kartoffelmehl. Prozent-Verlust an:

Reihe	Person	Trockensubstanz	Asche	Organ. Substanz	Stärke	N	Pentosan	Kalorien
V	Oe.	12·1	47·6	11·5	1·6	42·9	26·0	14·4
	Sch.	11·1	48·5	10·4	1·0	37·8	20·2	13·3
	Mittel:	11·6	48·0	10·9	1·3	40·3	23·1	13·8
VI	Oe.	17·1	32·8	16·1	2·8	46·5	25·8	17·7
	Sch.	13·5	37·7	12·8	2·5	48·7	27·0	17·3
	Mittel:	15·3	32·5	14·4	2·6	47·6	26·4	17·5

Aus ihnen ergibt sich, daß das Brot durch den Zusatz von Kartoffelmehl in jeder Beziehung verschlechtert worden ist, während bei schwächerer Ausmahlung ein ungünstiger Einfluß der Kartoffel nicht nachweisbar war.

Das Ergebnis war um so auffallender, als man geneigt sein konnte, durch Mischung des Mehles mit Kartoffelmehl eine Verbesserung der Ausnützung zu erwarten, da die Kartoffel dem 82prozentigen Roggenmehl gegenüber als der besser resorbierbare Teil erscheinen durfte; es mahnt dies Resultat zur Vorsicht in der aprioristischen Beurteilung des zu erwartenden Verdaulichkeitsgrades. Die individuellen Unterschiede zwischen den Personen Oe.

und Sch. sind im Versuch V noch deutlich ausgeprägt. O. verdaut in jeder Richtung etwas weniger gut als Sch., im Versuch VI ist in den entscheidenden Punkten ein solcher Unterschied nicht mehr vorhanden. Die Verschlechterung der Kalorienausnützung beträgt 28·7 Prozent, die der N-Ausnützung 18·1 Prozent, also Unterschiede von sehr merklicher Größe.

Es erübrigt sich noch, den Unterschieden in der Ausnützung im einzelnen etwas näher nachzugehen.

Zunächst mag die Frage der N-Ausscheidung näher geprüft sein.

An der N-Ausnützung sind die Stoffwechselprodukte und das unresorbierte Protein beteiligt, von dem ein Teil in der Zellmembran bleibt, ein Teil im Dickdarm auch nach Öffnung der Kleiezellen nicht mehr resorbiert wird. Über das Verhalten der beiden Brotsorten in dieser Hinsicht geben die nachfolgenden Zahlen einen näheren Einblick.

Übersicht über die Proteinausscheidung im Kot.

Versuch	Person	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot	N im Stoffwechselprodukt	N-Zufuhr	Prozent-Verlust an N in Zellmembran
V	Oe.	18·28	83·9	15·3	2·45	4·80	2·35	11·15	21·6
	Sch.	20·60	72·5	14·9	2·38	4·00	1·62	10·49	22·7
	Mittel:	19·44	78·2	15·1	2·41	3·19	1·98	10·82	21·1
VI	Oe.	15·6	100·4	15·6	2·50	4·36	1·86	9·38	26·6
	Sch.	18·8	84·8	15·9	2·55	4·60	2·05	9·25	27·5
	Mittel:	17·2	92·6	15·7	2·52	4·48	1·95	9·31	27·0

Der Verlust an Protein ist demnach unter dem Einfluß der Kartoffelzugabe wirklich gestiegen, obschon relativ der Proteingehalt der Zufuhr durch Amidsubstanzen der Kartoffel in Versuch VI sicher eine Verminderung erfahren hat, dagegen ist die Menge des N, der in den Stoffwechselprodukten sich findet, bei Versuch VI nicht größer geworden. In Versuch V zeigt Person Oe. reichlichere Stoffwechselprodukte als Sch., während bei VI dieser Unterschied nicht mehr sichtbar ist.

Die Untersuchung über die Ausscheidung der Zellmembran und ihre Verdaulichkeit ergab folgende Resultate (s. Tabelle S. 27 oben.)

Die Verdaulichkeit der Zellmembran in Versuch VI ist im Durchschnitt erheblich schlechter als bei dem reinen Roggenbrot, in Versuch V sind die individuellen Unterschiede zwischen Oe. und Sch. deutlich ausgesprochen. Sie fallen in Versuch VI aber aus. Die größten Differenzen

Verluste.

Reihe	Person	Pentosan	Zell-membran	Zellulose	Pentosan in Zellmembran	Rest-substanz	Freies Pentosan
V	Oe.	26·0	66·4	82·7	52·3	66·1	14·6
	Sch.	20·2	45·0	56·3	31·2	49·5	15·4
	Mittel:	23·0	55·7	69·5	41·7	57·8	15·0
VI	Oe.	25·8	65·5	62·4	47·6	92·9	29·5
	Sch.	27·0	69·9	66·8	56·6	90·5	20·6
	Mittel:	26·4	67·7	64·6	47·1	91·7	20·1

zeigen beide Versuche in bezug auf die Restsubstanz, d. h. die Lignine u. dgl., welche am schlechtetsten verdaut worden sind; auch die Pentosane sind bei Zugabe des Kartoffelmehls weniger vollkommen resorbiert worden. Vermutlich wirkte die weniger gute Resorption der Zellmembran der Kartoffel-Roggenmischung auch auf die Verdauung der Eiweißstoffe und verschlechterte sie.

Die Zusammensetzung der Zellmembran der Einfuhr und Ausfuhr zeigt folgende Tabelle.

In 100 Teilen Zellmembran waren:

		In der Zufuhr	In der Ausfuhr Oe.	Sch.	Mittel
Versuch V	Zellulose . .	28·25	35·45	35·17	35·31
	Pentosan . .	35·33	28·10	25·04	26·57
	Restsubstanz	36·42	36·45	39·78	38·14
Versuch VI	Zellulose . .	53·47	50·52	51·84	51·25
	Pentosan . .	24·67	18·52	20·14	19·32
	Restsubstanz	21·86	30·96	27·97	29·42

In V und VI unterscheiden sich die Zellmembranen in der Zusammensetzung recht erheblich; bei Roggenbrot nimmt die Zellmembran im Stuhlgang an Zellulose zu, aber in diesem Falle nicht erheblich, in Versuch VI ist diese zu erwartende Zunahme an Zellulose dadurch, daß die Restsubstanz so unverdaut blieb, verdeckt.

Es erübrigt sich eine nähere Angabe über die Stoffwechselprodukte und die Ausscheidung von Unresorbiertem im Kot. Die Ergebnisse enthält nachfolgende Tabelle:

Unresorbierbares und Stoffwechselprodukte im Kot.

Reihe	Person	Verlust an Kalorien pro Tag				Kalorien im Kot insgesammt	Kalorien im Kot aus Stoffwechsel	Verzehrte Kal. im Brot	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. im Kot treffen auf Stoffwechselprodukte
		Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
V	Oe.	38·9	172·0	25·0	235·9	420·0	184·1	2880	6·39	43·8
	Sch.	23·4	110·3	21·0	154·7	360·4	205·7	2653	7·75	57·7
VI	Oe.	65·6	149·8	35·8	251·2	476·7	225·5	2678	8·42	47·3
	Sch.	51·2	159·3	26·9	237·4	462·6	225·2	2675	8·42	48·6

Mittelwerte:

	Von 100 Kal. Brot wurden als Stoffwechselprodukte ausgeschieden	Von 100 Kal. des Kotes sind Stoffwechselprodukte
bei V	7·07	50·7
bei VI	8·42	47·9

Die Menge der Stoffwechselprodukte im ganzen hat also durch die Zugabe von Kartoffelmehl sich gesteigert, unter den Stoffwechselprodukten haben aber, wie früher dargelegt wurde, die N-Substanzen nicht zugenommen, also sind die N-freien Substanzen ausschlaggebend gewesen.

Die Relation zwischen unverdautem Material und Stoffwechselprodukten ist fast die gleiche geblieben, da aber der Gesamtverlust sich zwischen V und VI gesteigert hat, ist auch die absolute Menge von Unresorbierbarem gestiegen. Die Mehrausscheidung betraf, wie man aus den Zahlen der Tabelle sieht, sowohl Zellmembran wie Stärkemehl.

Gesamtresultat des Roggenversuchs.

Bei der Bedeutung, welche der Roggen für die Volksernährung im allgemeinen hat, sollen noch die Versuche mit reinem Roggenbrot einer besonderen Betrachtung unterzogen werden. Besonders mit Rücksicht auf die Veränderung der Verdaulichkeit bei verschiedener Ausmahlung. Von dem analytischen Material kommt für die Hauptfragen nur ein Teil in Betracht. Die Resultate im einzelnen zu betrachten, dafür mag auf die einzelnen Abschnitte verwiesen werden.

Will man also feststellen, wie sich die Brotsorten verhalten und wie etwa das ungleiche Verhalten zur Ausmahlung steht, so können wir diesbezüglich nur auf den Zellmembrangehalt Gewicht legen, er gibt im allgemeinen und hier im konkreten Fall ein Maß für die Zerkleinerung des Korns

und die Beimengung von Kleiehülsen und anderen Membranen Die nachfolgende Tabelle gibt eine solche Übersicht:

Versuche mit Roggenmehl.

Versuchsreihe	II	V	I	III
Zellmembrangehalt in Prozent . .	8·75	6·69	5·61	3·14
Ausmahlung	95	82	?	65
N-Verlust im ganzen	35·1	40·3	39·7	37·8
an Protein	25·9	21·6	23·4	19·5
an Stoffwechsel-N	10·2	18·7	16·3	18·3
Prozent Stoffwechsel-N	29·0	46·4	40·1	48·5
Kalorienverlust im ganzen	14·8	13·5	11·7	9·8
an Stoffwechselprodukten	7·47	7·07	7·70	5·68
an Unverdautem	7·3	6·4	4·0	4·1
Stoffwechselprodukte in Prozent .	50·7	55·7	65·8	57·9
Von 100 Teilen Zellmembran gehen verloren	47·0	55·7	55·5	48·1

Die Ausmahlung in Versuch II haben wir zu 95 Prozent angegeben, auf Einheiten genau läßt sie sich nicht bestimmen. V und III sind aus dem Mahlgut bestimmt worden, I dürfte annähernd etwas über 70 Prozent Ausmahlung nach dem Zellmembrangehalt zu urteilen, gleichkommen.

Von Interesse ist zunächst die Verdaulichkeit des N. Darüber werden wir durch die Tabellen genau unterrichtet. Zwischen Vollkorn und 65prozentiger Ausmahlung ist von einem größeren Unterschied nichts zu sehen. Also ein Roggenmehl, das so weit von Kleie befreit ist, wie es selten vorkommt, zeigt immer noch einen sehr hohen N-Verlust. 37·8 Prozent sind eine enorme Einbuße an Nährstoff. Zergliedern wir aber diesen Verlust in das Unresorbierte und den N-Verlust durch Stoffwechselprodukte, so sieht man, daß doch mit der stärkeren Ausmahlung der Proteinverlust geringer wird, von 95 bis 65 Prozent Ausmahlung fällt der Verlust von 25·9 Prozent auf 19·5 Prozent. Es liegt also wirklich ein schwer aufnehmbares Eiweiß vor. Zum Teil liegt diese schwierige Aufnahme ganz gewiß auch an den uneröffneten Kleiezellen, aber wenn das allein der Grund der ungünstigen Resorption wäre, so müßte sich doch die Ausnützung zwischen Ausmahlung 95 und 65 Prozent erheblich ändern, da die Menge der Zellmembran von 8·75 auf 3·14 Prozent heruntergeht und die Verdaulichkeit der Zellmembranen — siehe letzten Stab der Tabelle — ungefähr dieselbe bleibt.

Der Stoffwechsel N zeigt ungefähr gleichbleibende Verhältnisse, nur das Brot mit feuchter Vermahlung, wobei die Hülsen gequetscht werden,

gibt weniger Stoffwechselprodukte, was sich in der Relativzahl 29·0 gegen 40 bis 48 Prozent bei den anderen Versuchen ausdrückt, doch liegt möglicherweise ein allgemeines relatives Ansteigen der N-haltigen Stoffwechselprodukte, das durch zufällige Umstände etwas verdeckt wird, vor. In dieser Hinsicht sei auf die spätere Betrachtung der Stoffwechselprodukte im allgemeinen (Kal.) verwiesen. Der Kalorienverlust im Kot sinkt regelmäßig mit zunehmender Ausmahlung des Getreides, 14·8 Prozent bei Vollkorn gegen 9·8 Prozent bei 65 prozent. Ausmahlung ist eine erhebliche Verbesserung der Verdaulichkeit. An dieser Verbesserung nimmt der Umstand teil, daß die Menge des Unverdaulichen allmählich absinkt, fast auf 60 Prozent der Menge bei Vollkornbrot. Die Menge der Stoffwechselprodukte ist bei den gröberen Brotsorten größer als bei den besser ausgemahlenem Brot, das Absinken geht jedoch langsam vor sich, so daß bei 65 Prozent Ausmahlung die Stoffwechselprodukte etwas über $^2/_3$ des Gesamtverlustes ausmachen. Es ist also bei Roggenbrot so, wie bei vielen anderen Nahrungsmitteln: der Hauptverlust liegt, das Vollkornbrot ausgenommen — nicht im Unresorbierten, sondern in den Stoffwechselprodukten.

Zu den Stoffwechselprodukten werden bei der eben ausgeführten Art. der Berechnung auch der Ätherextrakt gerechnet, dies könnte vielleicht als unzutreffend erscheinen. Doch steht sicher, daß der Ätherextrakt des Kotes nach dazu bei Gaben von kleinen Fettmengen in der Kost, mit der Menge des Ätherextraktes im Kot nichts zu tun hat. Der Ätherextrakt wird durch Substanzen gebildet, die nicht in ihrer Gesamtheit als Neutralfett oder Fettsäure aus Neutralfett zu betrachten sind, sondern es sind eine Reihe von Stoffwechselprodukten beigemengt. Wie der eine von uns nachgewiesen hat[1], sind im Ätherextrakt aus Kot auch N-Substanzen vorhanden, das Gemenge von „Fettsäuren“ und Fett aus Kot enthält nur 8·4 Kal., bleibt also wesentlich unter den Werten des Neutralfettes. Als Ätherextrakt kommen eine Reihe von Substanzen in Betracht, die auch in Alkohol löslich sind. Wollte man das Kotfett als Ganzes noch mal gesondert von den „Stoffwechselprodukten“ abziehen, so würde auch ein Teil der letzteren, die Nichtfette sind, in Rechnung kommen. In den Ätherextrakt gehen sicher auch Bestandteile der Gallenreste mit über.

Die Menge des im Kot ausgeschiedenen Fettes (ohne vorheriges Ansäuern extrahiert) beträgt pro Tag in g:

Versuch-Nr.	III	IV	V	VI	I	II
Oe.	3·0	1·9	3·4	2·3	7·0	6·4
Sch.	3·6	4·2	2·4	2·5	4·7	6·1
Mittel . . .	3·3	2·5	2·9	2·4	5·8	6·2

[1] **Rubner**, *Gesetze des Energieverbrauchs.* S. 26.

Von diesen „Fettmengen“ könnte also nur ein Teil als Substanz bezeichnet werden, die von den Stoffwechselprodukten in Abzug kommt. Dieser Anteil wieder wird zum Teil auch aus fettig degenerierten abgestoßenen Epithelien sich zusammensetzen. Andere Fettbestandteile stammen bei den stark sauren Koten aus der Umwandlung von Kohlehydraten, wobei es zu stark wasserhaltigen Kotentleerungen von sehr saurer Beschaffenheit kommen kann (Butter- und Essigsäure). In den obigen Fällen der Brotfütterung war das nie der Fall. Dennoch wird man schließen dürfen, daß das, was als Stoffwechselprodukt gerechnet wird, seiner Menge nach nur wenig sich ändern würde, wenn wir auch in der Lage wären, den Ätherextrakt außer Rechnung zu bringen, der nicht zu den Stoffwechselprodukten gerechnet werden kann.

Wir müssen also annehmen, daß durch ein Nahrungsmittel ein bestimmter Reiz für den Darm ausgeübt wird, der spezifisch ist. Ihn als eine mechanische Wirkung der Zellmembran anzusehen, geht nicht an. Man kann der menschlichen Kost reichlich Zellmembran zufügen, ohne daß eine solche Steigerung der Stoffwechselprodukte zu beobachten ist. Das wird durch die ausgedehnten Versuche mit Spelzmehlzusatz[1] dargetan. In manchen Fällen sind die Stoffwechselprodukte ungemein gering, ja verschwindend klein. Was den Kalorienwert dieser Produkte anlangt, so hat der eine von uns früher schon derartige Produkte untersucht und zwar beim Fleischkot des Hundes. Der Alkoholextrakt liefert aber dabei nur Produkte mit auffallend geringem Brennwert 3·982 Kal. pro 1 g organisch. In Versuch V (Person Sch.) wurde der saure Alkoholextrakt abgedampft unter Neutralisieren, dann getrocknet, die Asche, die Chloride und die Verbrennungswärme bestimmt.

In den sauren Alkohol geht viel Asche über, abzüglich der Chloride wurde 19·07 Prozent Asche gefunden. 1 g organisch gab 5·499 Kal., das ist also mehr, wie in dem einfachen Alkoholextrakt, d. h. ohne Ansäuern gefunden wird.

Durch die Bildung von Stoffwechselprodukten wird also gewiß eine reichliche Ausscheidung von Salzen durch den Darm bedingt.

Es liegt nahe, die Verdaulichkeit des Weizens mit der des Roggens in Vergleich zu setzen, denn beide sind die Konkurrenten für die Brotversorgung auf der Welt.

Ein sicherer Vergleich hat sich bis jetzt nicht ausführen lassen, weil die Bedingungen, unter denen die Vermahlung stattfand, nie so genau festgestellt worden sind, wie es nötig war. Der einfache Vergleich wäre Vollkornweizen- und Vollkornroggenbrot. Es wurde schon eingangs hervor-

---

[1] S. *dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg.

gehoben, daß man auf die Bezeichnungen Vollkorn gar nichts geben kann, und dann bleibt immer noch zu erwägen, daß die natürlichen Schwankungen des Zellmembrangehalts sehr beträchtlich sind, daß also zufälligerweise ein Maximum an Zellmembran beim Weizen mit einem Minimum bei Roggen zusammenfallen könnte.

Am ehesten läßt sich ein solcher Vergleich ausführen, wenn man von Material ausgeht, das eingehend analysiert worden ist. Für Weizen liegen genaue Versuche bereits vor[1], welche in der Methodik der Untersuchung mit den Roggenversuchen übereinstimmen, die Ergebnisse in analoger Weise geordnet, wie die oben für Roggen angeführten zeigen.

Versuche mit Weizenmehl.

Ausmahlung	sog. Vollkorn	etwa 30 proz. Ausmahlung
Zellmembrangehalt in Prozent	5·68	2·95
N-Verlust im ganzen	21·14	12·38
an Protein	11·9	—
an Stoffwechselprodukten-N	9·24	—
Prozente des Stoffwechsel-N	43·7	—
Kalorienverlust im ganzen	11·12	4·51
an Stoffwechselprodukten	7·30	3·7
an Unverdautem	3·82	0·80
Stoffwechselprodukte in Prozent	67·6	65·6
von 100 Teilen Zellmembr. gehen verloren	58·0	24·6

Der Zufall hat es gefügt, daß unter den Weizenversuchen der als Vollkorn bezeichnete fast genau den gleichen Zellmembrangehalt zeigt wie Versuch I bei dem Roggen.[2] Man darf also wohl hier den Vergleich zwischen Roggen und Weizen als gesichert ansehen. Man sieht für die Kalorien, daß gar kein Unterschied vorliegt. Roggen und Weizen stimmen bis auf wenige Zehntel Prozente in der Ausnützbarkeit überein. Auch hinsichtlich der Stoffwechselprodukte ist die Übereinstimmung frappierend, das Unverdauliche ist um weniges geringer als beim Weizen, deshalb die Prozent-Beteiligung der Stoffwechselprodukte etwas größer.

Wohl aber besteht ein großer Unterschied in der Verdaulichkeit des N im allgemeinen und der Proteine im besonderen. Bei dem Weizen wird das Eiweiß doppelt so gut aufgenommen, wie bei Roggen der gleichen Aus-

[1] S. *dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg.

[2] Dies Weizenmehl wird im Handel Karamehl genannt und ist sogen. Klopfervollkorn.

mahlung. Auch der N-Gehalt der Stoffwechselprodukte ist bei Roggen viel höher als bei Weizen. Somit ist der Weizen dem Roggen zweifellos vorzuziehen.

Methodik und Belege.

Die für eine Periode erforderlichen Brote wurden im Institut für Getreideverarbeitung auf einmal gebacken. Bei Beginn des Versuchs — als sie 2 bis 3 Tage alt waren — wurde jeder Laib gewogen und sein Gewicht notiert. Gegessen durfte nur von dem zylindrischen mittleren Teil werden, die runden Enden wurden entfernt. Ebenso wurden zur Analyse 2 Brote hergerichtet, so daß das Verhältnis zwischen Rinde und Krume in den verzehrten Mengen und dem zur Untersuchung verbrauchten Material so weit wie möglich gleich war. Den Morgen des Tages, an dem der jeweilige Brotlaib in Benützung genommen wurde, wurde der inzwischen eingetretene Gewichts- (= Wasser)verlust bestimmt; so konnte das Gewicht der wirklich gegessenen Brotmenge auf ihr Gewicht am 1. Versuchstag, d. h. bei einem Wassergehalt gleich dem des analysierten Brotes umgerechnet werden.

Die zwei verstümmelten, im übrigen gesunden Soldaten wohnten im Institut und standen dauernd unter Aufsicht. Sie aßen je 6 Tage von dem Brot, soviel sie mochten; außerdem waren nur geringe Mengen Fett als Aufstrich, als Getränk dünner Kaffeeaufguß (Malzkaffe) erlaubt.

Trockensubstanz: Im Vakuum über Phosphorpentoxyd bei 60° bis zur Gewichtskonstanz oder bis durch weiteres 2stündiges Trocknen die Änderung kleiner als 0·1 Prozent war.

Asche: Verglühen in Platinschale ohne Zusatz.

Stickstoff: Nach Kjeldahl mit Kupfer- und Kaliumsulfat.

Stärke: Vom lufttrockenen Kotpulver wurden in einer Schleicher-Schüllschen Extraktionshülse genau gewogene Mengen (3 bis 4 g) zuerst mit Alkohol, dem anfangs einige Tropfen konz. Salzsäure zugesetzt worden waren, erschöpfend ausgekocht, wobei die Hülsen in einem Beutel von Mull hingen. Darauf wurde bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, die Hülsen entleert und das Gewicht der leeren trocknen Hülsen kontrolliert.

Das gut gepulverte Material (vom Brot 0·5 bis 0·8 g) wurde im bedeckten Porzellanbecher im Autoklaven auf 135° mit ungefähr 100 ccm Wasser so lange erhitzt, bis im Rückstand keine Bläuung mehr mit Jod auftrat. I. A. genügten für Kot 3, für Brot 4 bis 5 Stunden. Darauf wurde die Masse in einem Meßkolben zu 200 ccm übergeführt, nach Zusatz von 20 ccm 25prozentiger (D = 1·125) Salzsäure bis zur Marke aufgefüllt und sorgfältig gemischt. Die Stärkelösung aus Kot war leicht filtrierbar,

die aus Brot mußte zentrifugiert werden. Von der klaren Lösung wurden 175 ccm in den gleichen Meßkolben übergeführt und genau 3 Stunden im kochenden Wasserbad gehalten. Nach dem Abkühlen wurde mit 33 Prozent Natronlauge beinahe neutralisiert, aufgefüllt und in 25 ccm das Reduktionsvermögen nach Bertrand bestimmt. Die Zuckerlösung aus Kot war stets stark gefärbt und konnte nicht polarisiert werden, dagegen wurde in den aus Brot stammenden Lösungen der nach Bertrand bestimmte Zuckergehalt im Polarimeter kontrolliert. Die Stärkelösung gab beim Kochen mit konz. Salzsäure deutlich Furfurol, dagegen stets, wenn auch nur spurenweise die durch verdünnte Säure hergestellte Zuckerlösung aus den Kotproben, wohl weil hier das Ausgangsmaterial pentosanreicher war.

Pentosane: nach Tollens. Phlorogluzid im Vakuum über Kaliumhydroxyd bei 100° getrocknet bis zur Konstanz oder bis eine geringe Gewichtszunahme eintrat (Oxydation des Niederschlags auch im Vakuum). Berechnung nach der Tabelle.

Rohfaser (aschefrei): Über Kieselgur abgesaugt, bei 100° zur Gewichtskonstanz getrocknet (bedeckt gewogen!) und verglüht.

Zellmembran: Siehe Rubner, dies Archiv. 1915. S. 88 u. 199.

Zellulose: Nach Hoffmeister, ebenda. S. 77.

Kg-Kalorien: In der Berthelot-Mahlerschen Bombe.

Anlage.

Belege über Einnahme und Ausgabe.

L.

1. Woche.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
23. X.	1.	59	1065 g Brot, 25 g Zucker, 45 g Fett	1065		8·59	25	45	100	2790	405	3295	800	—	—	—	—	Kein Stuhlg.
24. X.	2.	—	1379 g „ 20 g „ 55 g „	1394·1		11·25	20	55	80	3653	495	4228	1700	6·34	6h 30′ v.	450	70	
25. X.	3.	59	1230 g „ 10 g „ 30 g „	1250·9		10·10	10	30	40	3275	270	3585	?	5·14	6h 30′ v.	452	84	
26. X.	4.	—	1445 g „ 10 g „ 20 g „	1475·7		11·91	10	20	40	3966	180	4086	1870	7·34	6h 00′ v.	475	100	
															5h 30′ n.	290	60	
27. X.	5.	—	1090 g „ 10 g „ 20 g „	1115·7		9·01	10	20	40	2924	180	3144	1620	6·30	6h 00′ v.	390	75	
															5h 30′ n.	234	44	
28. X.	6.	58·5	1120 g „ 10 g „ 20 g „	1157·7		9·35	10	20	40	3034	180	3254	1950	6·13	6h 00 v.	415	80	
															5 30 n.	186	36	
29. X.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	7 00 v.	335	65	
			Summe	7459	4684	60·21				19543		21592		31·25		3227		
			im Tag	1243	761	10·04				3257		3599		6·25		538		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	8·59	6·34	3·58	9·92	+1·33	roh: 3599
2.	11·25	5·14	3·58	8·72	+1·38	
3.	10·10	7·34	3·58	10·92	+0·99	rein: 3125
4.	11·91	6·30	3·58	9·88	−0·87	
5.	9·01	6·13	3·58	9·71	−0·36	kg: 58·75
6.	9·35					
Mittel:	**10·04**	**6·25**	**3·58**	**9·83**	**+0·21**	

1. Woche. Oe.

Datum	Versuchstag	Körper-gewicht	Nahrung Roggenvollbrot trocken gemahlen	Brot frisch berechnet	Brot Trocken-substanz	Brot N	Zucker	Fett	Kalorien Zucker	Kalorien Brot	Kalorien Fett	Kalorien Summe	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Bemerkung
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
23. X.	1.	70·5	1515 g Brot, 25 g Zucker, 45 g Fett	1515		12·23	25	45	100	3969	405	4474	720	—	—	—	—	Kein Stuhlg.
24. X.	2.	—	1455 g ,, 20 g ,, 55 g ,,	1466·5		11·74	20	55	80	3843	495	4418	1000	6·51	12h 15′ n.	225	50	
25. X.	3.	70·5	1480 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1499·7		12·11	10	20	40	3930	180	4150	?	7·17	8 00 v.	282	72	
26. X.	4.	—	1260 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1281		10·34	10	20	40	3356	180	3576	1780	6·08	8 30 v.	359	89	
27. X.	5.	—	1215 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1243·7		10·04	10	20	40	3259	180	3479	980	5·04	8 45 v.	539	124	
28. X.	6.	71	1160 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1207·4		9·74	10	20	40	3162	180	3382	1960	4·00	1 15 n.	257	52	
29. X.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Kein Stuhlg.
															9 30 v.	285	70	
															2 30 n.	204	49	
			Summe	8213	5158	66·20				21520		23479		28·80		2151		
			im Tag	1369	860	11·03				3587		3913		5·76		358		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	12·23					
2.	11·74	6·51	4·36	10·87	+0·87	roh: 3913
3.	12·11	7·17	4·36	11·53	+0·68	
4.	10·34	6·08	4·36	10·44	−0·10	rein: 3485
5.	10·04	5·04	4·36	9·40	+0·64	
6.	9·74	4·00	4·36	8·36	+1·38	kg: 70·75
Mittel:	11·03	5·76	4·36	10·12	+0·91	

1. Woche. Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenvollbrot trocken gemahlen	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
23. X.	1.	68	1014 g Brot, 25 g Zucker, 45 g Fett	1014		8·18	25	45	100	2656	405	3161	420	—	—	—	—	Kein Stuhlg.
24. X.	2.	—	1059 g ,, 20 g ,, 30 g ,,	1070·7		8·64	20	30	80	2806	270	3156	840	5·60	7h 30′ v.	480	88	
25. X.	3.	67·5	1275 g ,, 10 g ,, 30 g ,,	1279·9		10·33	10	30	40	3354	270	3664	?	7·00	8 30 v.	542	93	
26. X.	4.	—	960 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	981·7		7·92	10	20	40	2572	180	2792	1900	5·74	7 30 n.	411	81	
27. X.	5.	—	885 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	916·6		7·30	10	20	40	2402	180	2622	1140	4·23	6 30 n.	378	78	
28. X.	6.	67·5	840 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	875		7·06	10	20	40	2292	180	2512	2060	5·31	10 30 v.	330	60	
29. X.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Kein Stuhlg.
			Summe	6138	3855	49·43				16080		17907		27·88		2141		
			im Tag	1023	643	8·42				2680		2985		5·58		357		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	8·18					
2.	8·64	5·60	3·30	8·90	−0·26	roh: 2985
3.	10·33	7·00	3·30	10·30	+0·03	
4.	7·92	5·74	3·30	9·07	−1·15	rein: 2681
5.	7·30	4·23	3·30	7·53	−0·23	
6.	7·06	5·31	3·30	8·61	−1·55	kg 67·75
Mittel:	8·24	5·58	3·30	8·88	−0·64	

2. Woche. Oe.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenvollbrot feucht gemahlen (Growitt)	Brot frisch berechnet	Brot Trockensubstanz	Brot N	Zucker	Fett	Kalorien Zucker	Kalorien Brot	Kalorien Fett	Kalorien Summe	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Bemerkung
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
30. X.	1.	72	1380 g Brot, 10 g Zucker, 25 g Fett	1380		13·91	10	25	40	3714	225	3979	980	7·45	—	—	—	Kein Stuhlg.
31. X.	2.	—	1080 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1095·6		11·05	10	20	40	2950	180	3170	1300	4·03	3h 15′n.	437	97	
1. XI.	3.	70·5	1610 g ,, 10 g ,, 20 g ,,	1653·2		16·66	10	20	40	4449	180	4669	900	5·18	10 15 v.	269	59	
2. XI.	4.	—	1185 g ,, — ,, 10 g ,,	1204·3		12·14	—	10	—	3240	90	3330	1560	8·57	7 15 v.	900	184	
3. XI.	5.	—	1425 g ,, — ,, 30 g ,,	1459·1		14·71	—	30	—	3727	270	4197	1160	7·43	9 15 v.	279	69	
4. XI.	6.	71	1005 g ,, 20 g ,, 30 g ,,	1035		10·43	20	30	80	2785	270	3135	2020	7·86	7 30 v.	619	144	
															8 00 n.	291	61	
5. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	12 15 n.	269	49	
			Summe	7827	5029	78·90				21066		22480		40·52		3064		
			im Tag	1305	838	13·15				3511		3747		6·75		511		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	13·91	7·45	4·95	12·40	+1·51	
2.	11·05	4·03	4·95	8·98	+2·07	roh: 3747
3.	16·66	5·18	4·95	10·13	+6·53	
4.	12·14	8·57	4·95	13·52	−1·38	rein: 3214
5.	14·71	7·43	4·95	12·38	+2·33	
6.	10·43	7·86	4·95	12·81	−2·38	kg: 71·2
Mittel:	13·15	6·75	4·95	11·70	+1·45	

2. Woche. Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenvollbrot feucht gemahlen (Growitt)	Brot frisch berechnet	Brot Trockensubstanz	Brot N	Zucker	Fett	Kalorien Zucker	Kalorien Brot	Kalorien Fett	Kalorien Summe	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Bemerkung
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
30. X.	1.	69	1125 g Brot, 10 g Zucker, 25 g Fett	1125		11·34	10	25	40	3028	225	3293	1580	6·94	8ʰ 45′ n.	164	29	
31. X.	2.	—	660 g „ 10 g „ 20 g „	665·3		6·70	10	20	40	1791	180	2011	1140	3·81	7 15 n.	471	96	
1. XI.	3.	67·5	1620 g „ 10 g „ 20 g „	1650·3		16·63	10	20	40	4441	180	4661	1320	5·49	2 15 n.	265	55	
															10 30 n.	298	58	
2. XI.	4.	—	1070 g „ — „ 10 g „	1087		10·96	—	10	—	2925	90	3015	1320	5·60	9 30 v.	177	47	
															5 30 n.	190	40	
3. XI.	5.	—	1065 g „ 10 g „ 30 g „	1093·7		11·03	10	30	40	2944	270	3254	760	4·42	5 30 n.	253	38	
															11 00 n.	184	34	
4. XI.	6.	67·5	980 g „ 20 g „ 30 g „	1007·3		10·15	20	30	80	2710	270	3060	1850	7·74	8 00 n.	350	80	
5. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 00 v.	359	69	
			Summe	6629	4256	60·81				17840		19294		34·00		2711		
			im Tag	1105	709	10·14				2973		3216		5·67		452		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	11·34	6·94	3·44	10·38	+0·96	
2.	6·70	3·81	3·44	7·25	−0·55	roh: 3216
3.	16·63	5·49	3·44	8·93	+7·70	
4.	10·96	5·60	3·44	9·04	+1·92	rein: 2791
5.	11·03	4·42	3·44	7·86	+2·17	
6.	10·15	7·74	3·44	11·18	−1·03	kg: 67·5
Mittel:	10·14	5·67	3·44	9·11	+1·03	

3. Woche. Oe.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 65 %	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
6. XI.	1.	72	1455 g Brot, 20 g Zucker, 50 g Fett	1455		9·43	20	50	80	3770	450	4300	1600	7·45	—	—	—	Kein Stuhlg.
7. XI.	2.	—	1300 g „ 15 g „ 50 g „	1314·3		8·51	15	50	60	3404	450	3914	1120	5·70	8h 15′ v.	57	47	
8. XI.	3.	71	895 g „ 15 g „ 30 g „	910·3		5·90	15	30	60	2357	270	2687	880	5·15	8 30 v.	499	114	
9. XI.	4.	—	1360 g „ — „ 40 g „	1391·4		9·01	—	40	—	3603	360	3963	1300	6·57	9 15 v.	481	91	
10. XI.	5.	—	1275 g „ — „ 40 g „	1314·7		8·52	—	40	—	3406	360	3766	1370	5·18	9 15 v.	280	60	
11. XI.	6.	72	1130 g „ — „ 40 g „	1186·8		7·69	—	40	—	3075	360	3435	2240	5·24	5 00 n.	322	77	
12. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 15 v.	317	72	
13. XI.	8.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	12 30 n.	200	50	
			Summe	7573	4733	49·06				19615		22065		35·29		2156		
			im Tag	1262	789	8·18				3270		3678		5·88		359		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	9·43	7·45	3·25	10·70	−1·27	
2.	8·51	5·70	3·25	8·95	−0·44	roh: 3678
3.	5·90	5·15	3·25	8·40	−2·50	
4.	9·01	6·57	3·25	9·82	−0·81	rein: 3317
5.	8·52	5·18	3·25	8·43	+0·09	
6.	7·69	5·24	3·25	8·49	−0·80	kg: 71·67
Mittel:	8·18	5·88	3·25	9·13	−0·95	

3. Woche.

Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 65 %	Brot frisch berechnet	Brot Trockensubstanz	Brot N	Zucker	Fett	Kalorien Zucker	Kalorien Brot	Kalorien Fett	Kalorien Summe	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Bemerkung
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
6. XI.	1.	68	1370 g Brot, 20 g Zucker, 50 g Fett	1370		8·98	20	50	80	3549	450	4079	1400	7·36	6ʰ 30′ n.	163	28	
7. XI.	2.	—	1215 g „ 15 g „ 50 g „	1224·9		7·94	15	50	60	3173	450	3683	1750	4·77	—	—	—	Kein Stuhlg.
8. XI.	3.	68	790 g „ 15 g „ 30 g „	803·4		5·20	15	30	60	2080	270	2410	1680	5·07	—	—	—	K. St.
9. XI.	4.	—	865 g „ — „ 40 g „	880		5·70	—	40	—	2280	360	2640	900	5·27	—	—	—	K. St.
10. XI.	5.	—	1095 g „ — „ 40 g „	1119·9		7·26	—	40	—	2901	360	3261	1600	5·91	2 00 n.	390	90	
11. XI.	6.	68	830 g „ — „ 40 g „	851·1		5·51	—	40	—	2205	360	2565	2900	4·00	5 00 n.	198	48	
12. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 15 v.	151	26	
13. XI.	8.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 30 n.	294	59	
			Summe	6249	3906	41·59				16188		18658		32·38		1196		
			im Tag	1042	651	6·93				2698		3110		5·40		198		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	8·98	7·36	2·47	9·83	−0·85	
2.	7·94	4·77	2·47	7·24	+0·70	roh: 3110
3.	5·20	5·07	2·47	7·04	−1·84	
4.	5·70	5·27	2·47	7·74	−2·34	rein: 2903
5.	7·26	5·91	2·47	8·38	+1·12	
6.	5·51	4·00	2·47	6·47	−0·96	kg: 68·0
Mittel:	6·93	5·40	2·47	7·87	−0·94	

4. Woche. **Oe.**

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 65 % + 20 % Kartoffeln	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g										
13. XI.	1.	71·5	1010 g Brot, — Zucker, 35 g Fett	1010		6·35	—	35	—	2590	315	2905	1840	8·09	—	—	—	Kein Stuhlg.
14. XI.	2.	—	1270 g ,, — ,, 40 g ,,	1284·6		8·08	—	40	—	3295	360	3655	1000	4·72	10ʰ 00′ v.	214	44	
15. XI.	3.	71	1080 g ,, — ,, 30 g ,,	1101		6·93	—	30	—	2823	270	3093	1200	5·11	11 15 v.	289	59	
16. XI.	4.	—	1140 g ,, — ,, 30 g ,,	1159·2		7·29	—	30	—	2972	270	3242	1220	5·49	10 15 v.	292	77	
17. XI.	5.	—	1020 g ,, — ,, 25 g ,,	1048·1		6·59	—	25	—	2687	225	2912	1300	5·78	—	—	—	K. St.
18. XI.	6.	71·5	990 g ,, 10 g ,, 50 g ,,	1025·2		6·55	10	50	—	2628	450	3078	1380	4·77	9 30 v.	570	115	
19. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 30 v.	329	69	
															11 15 v.	217	47	
			Summe	6630	4064	41·79				16995		18885		33·96		1913		
			im Tag	1105	677	6·97				2833		3148		5·66		319		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	6·35	8·09	3·25	11·34	− 4·99	
2.	8·08	4·72	3·25	7·97	+ 0·11	roh: 3148
3.	6·93	5·11	3·25	8·36	− 1·43	
4.	7·29	5·49	3·25	8·74	− 1·45	rein: 2826
5.	6·59	5·78	3·25	9·03	− 2·44	
6.	6·55	4·77	3·25	8·02	− 1·47	kg: 70·3
Mittel:	6·97	5·66	3·25	8·91	− 1·94	

4. Woche. Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 65 % + 20 % Kartoffeln	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
13. XI.	1.	69	1140 g Brot, — g Zucker, 35 g Fett	1140		7·17	—	35	—	2923	315	3238	1840	6·57	—	—	—	Kein Stuhlg.
14. XI.	2.	—	1010 g ,, — ,, 40 g ,,	1021		6·42	—	40	—	2618	360	2978	1900	5·00	—	—	—	K. St.
15. XI.	3.	68·5	1075 g ,, — ,, 30 g ,,	1096·7		6·92	—	30	—	2912	270	3082	880	5·43	3h 45′ n.	310	75	
16. XI.	4.	—	910 g ,, — ,, 30 g ,,	936·6		5·89	—	30	—	2402	270	2672	1700	5·04	3 45 n.	160	50	
17. XI.	5.	—	1180 g ,, — ,, 25 g ,,	1224·9		7·71	—	25	—	3141	225	3366	1170	4·86	9 45 v.	419	74	
18. XI.	6.	69	990 g ,, — ,, 50 g ,,	1033·4		6·50	—	50	—	2649	450	3099	1840	3·95	—	—	—	K. St.
19. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 45 v.	370	80	
20. XI.	8.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	8 45 n.	303	78	
			Summe	6453	3956	40·61				16545		18435		30·85		1562		
			im Tag	1076	659	6·77				2758		3073		51·4		260		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	7·17	6·57	2·80	9·37	−2·20	
2.	6·42	5·00	2·80	7·80	−1·38	roh: 3073
3.	6·92	5·43	2·80	8·13	−1·21	
4.	5·89	5·04	2·80	7·84	−1·95	rein: 2842
5.	7·71	4·86	2·80	7·66	+0·05	
6.	6·50	3·95	2·80	5·75	+0·75	kg: 68·8
Mittel:	6·60	5·14	2·80	7·76	−1·16	

5. Woche. Oe.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 82 %	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
20. XI.	1.	71	1275 g Brot, 20 g Zucker, 40 g Fett	1275		12·24	20	40	80	2628	360	3068	1210	6·05	—	—	—	Kein Stuhlg.
21. XI.	2.	—	1280 g „ 20 g „ 40 g „	1295·2		12·43	20	40	80	2669	360	3109	1100	7·07	10ʰ 30′ v.	611	121	
22. XI.	3.	71·5	1195 g „ 20 g „ 10 g „	1213·3		11·64	20	10	80	2500	90	2670	2710	6·41	3 30 n.	249	69	
23. XI.	4.	—	980 g „ 25 g „ —	997·1		9·57	25	—	100	2055	—	2655	780	5·50	11 15 v.	537	112	
24. XI.	5.	—	1095 g „ 25 g „ —	1126·1		10·81	25	—	100	2321	—	2421	1280	7·08	10 00 v.	534	109	
25. XI.	6.	71	1020 g „ 20 g „ 30 g „	1062·2		10·20	20	30	80	2189	270	2539	1980	7·20	7 30 n.	289	69	
26. XI.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 15 v.	521	101	
			Summe	6969		66·89				14382		16462		39·34		2741		
			im Tag	1167		11·15				2397		2744		6·56		457		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	12·24	6·05	4·80	10·85	+1·39	roh: 2744
2.	12·43	7·07	4·80	11·87	+0·56	
3.	11·64	6·41	4·80	11·21	+0·43	rein: 2393
4.	9·57	5·50	4·80	10·30	−0·73	
5.	10·81	7·08	4·80	11·88	−1·07	kg: 71·0
6.	10·20	7·20	4·80	12·00	−1·80	
Mittel:	11·15	6·56	4·80	11·35	−0·20	

5. Woche. Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 82 % + 20 % Kartoffeln	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
20. XI.	1.	69	1140 g Brot, 20 g Zucker, 40 g Fett	1140		10·94	20	40	80	2350	360	2790	1100	6·40	—	—	—	Kein Stuhlg.
21. XI.	2.	—	1240 g " 20 g " 40 g "	1247·3		11·97	20	40	80	2570	360	3010	2050	6·23	6h45′n.	448	98	
															12 00 n.	170	40	
22. XI.	3.	69	1150 g " 20 g " 10 g "	1169·9		11·23	20	10	80	2412	90	2582	2500	6·16	—	—	—	K. St.
23. XI.	4.	—	940 g " 25 g " — "	962·9		9·24	25	—	100	1985	—	2085	1000	3·28	9 45 v.	620	120	
															12 00 n.	134	29	
24. XI.	5.	—	1150 g " 25 g " — "	1177		11·30	25	—	100	2426	—	2526	1940	6·66	12 00 n.	437	95	
25. XI.	6.	68·5	835 g " 20 g " 30 g "	857·5		8·24	20	30	80	1767	270	3117	2020	6·56	—	—	—	K. St.
26. XI.	7.	—	— " — " — "	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	9 30 v.	420	95	
			Summe	6555		62·92				13510		16110		35·29		2229		
			im Tag	1093		10·49				2252		2685		5·88		372		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	10·94	6·40	4·0	10·40	+0·54	
2.	11·97	6·23	4·0	10·23	+1·74	roh: 2685
3.	11·23	6·16	4·0	10·16	+1·07	
4.	9·24	3·28	4·0	7·28	+1·96	rein: 2325
5.	11·30	6·66	4·0	10·66	+0·64	
6.	8·24	6·56	4·0	10·56	−2·32	kg: 69·20
Mittel:	10·49	5·88	4·0	9·88	+0·61	

6. Woche. Oe.

Datum	Versuchstag	Körper-gewicht	Nahrung Roggenmehl 82 % + 20 % Kartoffeln	Brot frisch berechnet	Brot Trocken-substanz	Brot N	Zucker	Fett	Kalorien Zucker	Kalorien Brot	Kalorien Fett	Kalorien Summe	Harn ccm	Harn N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken	Bemerkung
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
27. XI.	1.	71·5	1280 g Brot, — Zucker, 40 g Fett	1280		10·75	—	40	—	3071	360	3431	1300	6·85	—	—	—	Kein Stuhlg.
28. XI.	2.	—	1140 g „ — „ 40 g „	1140		9·58	—	40	—	2735	360	3095	1120	5·91	9h 30′ v.	464	84	
															7 00 n.	178	38	
29. XI.	3.	71	1190 g „ — „ 40 g „	1204		10·11	—	40	—	2888	360	3248	1160	5·91	10 00 v.	510	90	
30. XI.	4.	—	1040 g „ 10 g „ 30 g „	1064·6		8·94	10	30	40	2555	270	2865	1220	6·02	2 00 n.	327	67	
1. XII.	5.	—	1050 g „ 10 g „ 30 g „	1087·3		9·13	10	30	40	2608	270	2978	900	5·94	12 15 n.	571	116	
2. XII.	6.	71·5	995 g „ 25 g „ — „	1029·7		8·65	25	—	100	2471	—	2571	1100	6·52	12 30 n.	321	71	
3. XII.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	9 45 v.	524	104	
															4 00 n.	117	27	
			Summe	6806		56·29				16328		18128		37·15		3012		
			im Tag	1139		9·38				2721		3021		6·19		502		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	10·75	6·85	4·36	11·21	– 0·46	
2.	9·58	5·91	4·36	10·27	– 0·69	roh: 3021
3.	10·11	5·91	4·36	10·27	– 0·16	
4.	8·94	6·02	4·36	10·38	– 1·44	rein: 2544
5.	9·13	5·94	4·36	10·30	– 1·17	
6.	8·65	6·52	4·36	10·88	– 2·33	kg: 71·3
Mittel:	9·38	6·19	4·36	10·55	– 1·19	

6. Woche. Sch.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung Roggenmehl 82 % + 20 % Kartoffeln	Brot			Zucker	Fett	Kalorien				Harn		Kot			Bemerkung
				frisch berechnet	Trockensubstanz	N			Zucker	Brot	Fett	Summe	ccm	N	Zeit	frisch	trocken	
		kg		g	g	g	g	g						g		g	g	
27. XI.	1.	70	1185 g Brot, — Zucker, 40 g Fett	1185		9·95	—	40	—	2843	360	3203	1900	6·79	—	—	—	Kein Stuhlg.
28. XI.	2.	—	1145 g „ — „ 40 g „	1158·5		9·73	—	40	—	2780	360	3140	1220	5·38	51ʰ 50′n.	529	104	
29. XI.	3.	69·5	1180 g „ — „ 40 g „	1201·4		10·09	—	40	—	2881	360	3241	1200	4·84	10 30 v.	374	69	
30. XI.	4.	—	1010 g „ 10 g „ 30 g „	1034·4		8·69	10	30	40	2481	270	2791	1700	4·90	10 25 v.	495	95	
1. XII.	5.	—	1105 g „ 10 g „ 30 g „	1138·4		9·56	10	30	40	2730	270	3040	1810	5·32	10 30 v.	430	85	
2. XII.	6.	69·5	860 g „ 25 g „ — „	886·5		7·45	25	—	100	2127	—	2227	1780	4·96	9 50 v.	749	149	
															6 20 n.	330	60	
3. XII.	7.	—		—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	3 50 n.	150	40	
			Summe	6604		55·47				15845		17642		32·19		3057		
			im Tag	1101		9·25				2641		2940		5·37		510		

Tag	N Einnahme	N Harn	N Kot	N Ausgabe Summe	Bilanz	Kalorien
1.	9·95	6·79	4·60	11·39	− 1·44	
2.	9·73	5·38	4·60	9·98	− 0·15	roh: 2940
3.	10·09	4·84	4·60	9·44	+ 0·65	
4.	8·69	4·90	4·60	9·50	+ 0·81	rein: 2577
4.	9·56	5·32	4·60	9·92	− 0·36	
6.	7·45	4·96	4·60	9·56	− 2·11	kg: 69·7
Mittel:	9·25	5·37	4·60	9·97	− 0·43	

Die Verdaulichkeit der Mohrrüben beim Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Das Material, welches wir über die Verdaulichkeit der Gemüse besitzen, ist sehr gering, wenn man die große Zahl von Ernährungsmöglichkeiten betrachtet, welche diese Gruppe von Nahrungsmittel liefern kann. Zum Teil liegt der Mangel an Material in der Schwierigkeit, die sich einer ausschließlichen Gemüsekost entgegenstellt, begründet, bei vielen Personen versagt die Durchführung eines Experimentes von mehreren Tagen bisweilen schon an den ausgeprägten Geschmack- oder Geruchstoffen, so willkommen derartige Eigenschaften gerade für die Würzung der täglichen Kost bei den Gemüsen sind. Dadurch beschränkt sich auch tatsächlich die quantitative Bedeutung vieler Gemüse in der täglichen Kost, doch gibt es wiederum solche, von denen auch erhebliche Nahrungsmengen einzuführen sind. Am leichtesten ist ein reichlicher Genuß bei manchen Kohlarten und bei einigen Wurzelgemüsen.

Im März des Jahres 1878 habe ich an einem Vegetarianer einen Ausnutzungsversuch mit gelben Rüben angestellt, welcher der erste dieser Art am Menschen war. Es waren die überwinterten großen Rüben angewandt worden. Die Versuchsperson wünschte zu zeigen, daß man leicht sich auch mit diesem einfachen Nahrungsmittel erhalten könne. Die Ausführung des Versuches enttäuschte. Die verzehrte Menge war am ersten Tage noch groß, wurde am zweiten schon kleiner und länger wollte die Versuchsperson das Experiment überhaupt nicht durchführen. Pro Tag wurde 2566 g frischen Rüben entsprechend an Nahrung aufgenommen. Die Rüben waren durch das Lagern seit dem Herbst 1877 schon etwas wasseram geworden = 13·7 Prozent Trockensubstanz, während frische Rüben, wie sie aus dem Boden kommen, nur 9·2 Prozent Trockensubstanz haben. Obwohl die Person sehr viele Mahlzeiten einnahm, konnte sie, wie man jetzt, nachdem man die Verbrennungswärme der Gemüse genau kennt, berechnen kann,

nur 1028 kg-cal. zuführen, was für ihr Gewicht, wohl an 70 Kilo oder mehr — kaum die Hälfte dessen darstellt, was nötig gewesen war, wobei aber der Verlust durch den Kot noch nicht einmal in Rechnung gezogen ist. Es ist sicher, daß auch beim Wechsel des Nahrungsmittels und Aufnahme eines anderen Gemüses nicht viel mehr an Kalorien hätte aufgenommen werden können, denn bei dem analogen Versuch mit Wirsing brachte die Versuchsperson in 3 Tagen es auch nur auf je 3831 g frische Substanz = 1090 Kal. Bei ausschließlicher Kartoffelkost (an einer anderen Person) erreichte dagegen die gegessene Masse 3077·6 g, diese aber lieferten 3100 kg-cal. Man sieht daraus, daß im Volum der Kost eine bestimmte Begrenzung für die Ernährung gegeben ist. Vermutlich wäre schon die Hälfte der oben verzehrten Gemüse zur Befriedigung des durchschnittlichen Geschmacksbedürfnisses selbst für gesunde Männer recht groß, obwohl dann für einen Arbeiter erst $^1/_6$ des Nahrungsbedarfes geliefert würde. Wirsing mit 10·6 Prozent Trockensubstanz und Mohrrüben mit 13·7 Prozent gehören immerhin schon zu den gehaltvollen Nahrungsmitteln dieser Art, man braucht nur hierauf zu verweisen, um zu erkennen, daß sehr wasserhaltigen Blattgemüsen wie Spinat, Salat u. dgl. oder auch manchen Obstarten hinsichtlich der Befriedigung des Quantitätsbedürfnisses an Nahrung enge Grenzen gezogen sind. In diesem Frühjahr und in der Sommerzeit hat der Mangel an anderen Nahrungsmitteln wohl zu einem umfangreichen Genuß von Gemüse Veranlassung gegeben. Man darf aber die Verhältnisse der Kriegszeit, welche aus einer Fülle von Ausnahmefällen der Ernährung sich zusammensetzen, nicht als dauernd oder als einen dauernden Gewinn ansehen, sie werden verschwinden, sobald der Zwang aufhört.

Die Notwendigkeit einer weiteren und eingehenden Untersuchung der Gemüse ergibt sich aus den zahlreichen Experimenten, die ich in dieser Zeitschrift nach Verdauungsversuchen am Hunde mitgeteilt habe.

Die Verdaulichkeit verschiedener Zellmembranen beim Hunde ist unter möglichst vergleichbaren Bedingungen ausgeführt worden, so daß sich die Eigenart des Aufbaues der Zusammensetzung der Zellmembranen möglichst klar hat ausprägen können, das Gesamtresultat zeigt eine weitgehende Auflösungsmöglichkeit der Substanzen, stets mit der Abstufung, daß die echte Zellulose zweifellos weniger gut resorbiert worden ist, während die Pentosane und Lignine offenbar weitgehender aufgelöst werden. Zwischen Lösbarkeit und Resorption im Darm ist jedoch noch ein Unterschied vorhanden, da es Lösungen der Pentosane, welche aber nicht zur Resorption führen, gibt.

Wie sich die Resorptionsverhältnisse der Zellmembranen beim Menschen verhalten, ist bisher wenig bekannt, da man sich in wenig Fällen nur auf den

Nachweis des Verhaltens der Zellulose oder Rohfaser beschränkt hat. Es schien mir wünschenswert, die Experimente, die ich früher an gelben Rüben ausgeführt habe, zu wiederholen.

Ein gesunder Mann, der eben erst vom Felde zurückgekehrt war, übernahm die Durchführung des dreitägigen Experimentes. Abgegrenzt wurde zu Anfang und am Ende mit Kuhmilch und Käse, ein Verfahren, das ich noch jedem anderen vorziehe. Die gelben Rüben waren eine kleine Sorte, sehr frisch aus dem Boden, wohl aus unmittelbarer Nähe von Berlin. Sie wurden gewaschen, abgeschabt, zerkleinert und gekocht, ohne jeden anderen Zusatz. Die allgemeinen Verhältnisse zeigt folgende Tabelle.

Tabelle I.

Datum	Nahrung	Urin ccm	N g	Zeit	Kot g feucht	Kot g trock.	
2. VI. 16	4 1/2 Liter Milch, 400 g Käse						
3. VI. 16	4500 g gelbe Rüb.	1580	13·70[1]				letzte Portion am 4. VI. morgens gegessen.
4. VI. 16	4500 g desgl.	2000	11·26[2]	vorm.	330		letzte Portion am 5. VI. morgens gegessen.
5. VI. 16	2500 g „	2730	11·08[3]	„	167		
				abends	228		abends Nausea.
6. VI. 16	4 1/2 Liter Milch, 300 g Käse			vorm.	65		
7. VI. 16				„	46	21	
3 Tage	11500 g gelbe Rüb.		36·74		836	109	Abgrenzung vor und am Ende der Rübenperiode scharf.

Das Maximum der Aufnahme war täglich 4500 g täglich, doch ließ schon am dritten Tag die Menge des Aufgenommenen nach, ein Beweis, daß ein durchschnittlicher Konsum von 3830 g frische Rüben pro Tag die Grenzen der Leistung erreichte.

Die Ergebnisse waren nach verschiedenen Richtungen hin wesentlich anders, als bei meinem Vegetarianer, kurz gesagt, viel günstigere. Der Versuchskot bot nichts Außergewöhnliches, war breiig und sah nicht aus wie die gelben Rüben, wie das bei meinem früheren Versuch mit dem Vegetarianer der Fall war. Der Trockengehalt war 13·04 Prozent, also gering.

[1] Davon Harnstoff + NH_3 = 72·2 Prozent.
[2] „ „ + „ = 70·0 „
[3] „ „ + „ = 75·2 „

Die tägliche Harnmenge stieg fortlaufend, da die Rüben ja sehr viel Wasser enthalten, ist die hohe Zahl des Harnvolums begreiflich.

Die Wasserzurückhaltung an den ersten Tagen ist eine Erscheinung, die man sehr häufig beim Übergang zu vegetabilischer Kost beobachtet, wie das auch Thomas gesehen hat, auch von anderer Seite ist auf diesen Umstand hingewiesen worden, so schon Voit bei Experimenten mit Brotfütterungen am Hunde.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung war der Übergang des Karotins, des Farbstoffes der Rübe ins Blut und die Gewebe. Die Sklera war deutlich gelb gefärbt, der Harn war auf Gallefarbstoffe geprüft worden, die Probe fiel negativ aus.

In meinen früheren Versuchen hatte ich den Übergang von Karotin in die Haut nicht feststellen können, wahrscheinlich lag der negative Befund an der geringen Resorption der Rüben überhaupt.

Die Zusammensetzung der gelben Rüben entsprach im wesentlichen einer schon früher mitgeteilten. Der Trockengehalt war 9·23 Prozent, die Menge der verzehrten Trockensubstanz pro Tag 353 g. Die Bestandteile der Trockensubstanz sind folgende:

Tabelle II.

100 Teile gelbe Rüben Trockensubstanz.

4·92	Prozent	Asche
95·08	,,	Organisches
9·43	,,	Pentosen = 8·33 Prozent Pentosan
11·74	,,	Zellulose
26·64	,,	Zellmembran mit 6·28 g Pentosan
8·62	,,	Restsubstanz
1·51	,,	N = 9·42 g Protein
3·04	,,	Fett
360·9 kg-cal.		

353 g Trockensubstanz pro Tag enthalten:

17·37	g	Asche
335·6	,,	Organisches
33·29	,,	Pentosen
39·44	,,	Zellulose
94·03	,,	Zellmembran und 22·17 g Pentosan
30·82	,,	Restsubstanz
5·33	,,	N = 33·3 Rohprot.
10·73		Fett
1277·97		kg-cal.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

44·07 Prozent Zellulose
23·57 „ Pentosan
32·36 „ Rest

Im ganzen entsprach die Zufuhr 1278 kg-cal. (brutto) d. h. sie deckt kaum die Hälfte des Nahrungsbedürfnisses dieses Mannes. Man sieht auch hier, wie eng die Grenzen für die Gemüse gezogen sind, wenn es gilt, große Mengen Nährstoffe zu bewältigen. Bei einem Arbeiter mit schwerer Leistung würden obige 1278 kg-cal. sogar nur $^1/_3$ des Bedarfes bedeuten. Schwächliche Personen mit einem Magen, der nicht an große Leistungen gewöhnt ist, würde also nur einen mäßigen Nahrungsteil in gelben Rüben oder anderen ähnlichen Gemüsen bewältigen können, daher ist auch die Fettung der Gemüse, wie man sie sonst durchführt, sehr wesentlich, um gehaltvolle Gerichte herzustellen und eine Überlastung der Verdauungsorgane zu beseitigen.

Die Menge der täglich verzehrten Zellmembran machte 94·0 g aus, sie war also sehr beträchtlich. Außerordentlich gering ist die Zufuhr an Eiweiß.

Ich füge nachstehend die Analyse des ausgeschiedenen Kotes bei.

Tabelle III.

Mohrrüben, Kot, Mensch.

100 Teile Kot
18·19 Prozent Asche
81·81 „ Organisches
5·70 „ N
4·93 „ Pentosen, 4·35 Prozent Pentosan
11·01 „ Zellulose
16·20 „ Zellmembran mit 2·71 Proz. Pentosan
2·48 „ Restsubstanz
12·14 „ Fett
475·8 kg-cal. 1 g organisch = 5816 kg-cal.

34·41 g Kot enthalten:

6·26 g Asche
28·15 „ Organisch
2·01 „ N
1·69 „ Pentosen 1·48 g Pentosan
3·79 „ Zellulose

5·57 g Zellmembran mit 0·93 g Pentosan
0·85 „ Restsubstanz
4·18 „ Fett
= 162·2 kg-cal.

Daraus ergeben sich folgende Betrachtungen. Der Mann war auch am dritten Tage der Fütterung noch weit von einer Einstellung auf ein N-Gleichgewicht entfernt.

N im Harn	im Kot	Summe	Einnahme	Differenz
13·70	2·01	15·71	5·33	— 10·48
11·96	2·01	13·97	5·33	— 8·64
11·08	2·01	13·09	5·33	— 7·76

Der Verlust an Trockensubstanz war 9·75 Prozent, an N 38·95 Prozent.

Bei meinem früheren Versuch an dem Vegetarianer war 20·7 Prozent der Trockensubstanz und 39·0 Prozent des N verloren gegangen, somit hätte die jetzt verwendete Versuchsperson die Substanz im allgemeinen doppelt so gut resorbiert. Worauf dieser enorme Unterschied beruht, läßt sich nicht ohne weiteres sagen.

Ich stelle die Einnahmen und Ausgaben der organischen Substanz bei meinen beiden Reihen sich gegenüber:

	Aufgenommen pro Tag	Zellmembran	ausgeschieden
Vegetarianer	328·5	(93·5)	71·1
Person M	335·6	94·0	28·1

Die Ausscheidungen des Vegetarianers waren also 2·54mal so groß wie die von Person M.

Untersucht man die Größe der Ausnutzung nach dem Kaloriengehalt, so beträgt der Verlust 12·68 Prozent, der Kot war auffallend reich an Ätherextrakt, von dem das Karotin einen wesentlichen Teil ausmacht, doch war verseifbares Fett vorhanden. Vor allem interessiert das Verhalten der Zellmembran.

Ein Vergleich der Einfuhr und Ausfuhr der Zellmembran ergibt nur einen Verlust von 5·92 Prozent, also eine Resorption von 94·08 Prozent, eine derartige weitgehende Auflösung habe ich niemals beobachtet. Allein es hat sich kein Einwand gegen die Experimente finden lassen. Ein Verlust von Kot war sicher ausgeschlossen. Auch wenn man bedenkt, daß der Energieverlust 12·7 Prozent im Kot betrug, so würde auch die doppelt so hohe Kotmenge noch immer eine ganz außergewöhnlich günstige Auflösung der Zellmembranen darstellen. Es müssen also im gegebenen Falle die zellmembranverdauenden Vorgänge sehr eingreifende gewesen sein.

Das Resultat wird aber andererseits bestätigt durch die Untersuchung der Pentosane, von diesen wurden im Kote nur noch 5·07 Prozent gefunden, die Analysen wurden mehrfach wiederholt, da das Resultat zu unwahrscheinlich war. Daß die Pentosane der Zellmembran selbst auch weitgehend resorbiert wurden, versteht sich nach dem Vorstehenden von selbst (4·19 Prozent Verlust). Relativ schlechter war die Resorption der Zellulose mit 9·64 Prozent Verlust, doch stimmt dies wieder mit den allgemeinen Ergebnissen beim Hunde in der Richtung überein, daß die Zellulose stets schlechter als die anderen Komponenten der Zellmembran resorbiert wird.

Die im Kot austretende Zellmembran war also von anderer Zusammensetzung wie die von der Nahrung eingenommene.

In 100 Teilen Zellmembran sind:

in der Zufuhr			im Kot		
44·07	Prozent	Zellulose	67·96	Prozent	Zellulose
23·57	,,	Pentosan	16·72	,,	Pentosan
32·36	,,	Restsubstanz	15·32	,,	Restsubstanz

Das Ergebnis der menschlichen Ausnutzung der Zellmembran stimmt mit der am Hunde gemachten Erfahrung nicht überein, wie eine Gegenüberstellung der Resultate ergibt.

Verlust	beim Hund	bei Person M.
an Pentosen überhaupt	54·07	5·07
an Pentosen in der Zellmembran	36·70	4·19
an Zellmembran	58·11	5·92
an Zellulose	84·38	9·64
an Restsubstanz	36·50	2·79

Aus meinem Versuch mit meinem Vegetarianer läßt sich schätzungsweise berechnen, wie etwa der Verlust an Zellmembran gewesen sein dürfte. Der Mann hat nur 48·8 g organische Teile im Kot mehr ausgeschieden als etwa dem Stoffwechselrest des Kotes entspricht. Dieser Überschuß wird die unresorbierte Zellmembran gewesen sein, bei 93·5 g etwa aufgenommener Zellmembran entsprach das einem Verlust von 52·3 Prozent, was annähernd mit den Ausscheidungsverhältnissen des Hundes übereinkommt.

Wahrscheinlich beruhte die ungleiche Resorption meiner beiden Versuchspersonen überhaupt auf ungleicher Zerstörung der Zellmembranen. Hätte der Vegetarianer die Zellmembran besser verdaut, so würde eine Übereinstimmung der Resultate der sonst ganz gleichartig angeordneten Versuche gegeben sein. Freilich bleibt noch die weitere Möglichkeit, daß bei der

einen Person die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Darmes durch das Volum der Nahrung etwas überschritten sein könnte. Doch scheint mir die erste Annahme keineswegs unzulässig, weil die Entwicklung der richtigen Bakterienflora für den Angriff der Zellmembran recht wohl sehr wechselnd sein könnte.

Die schlechte Ausnutzung des N bedarf noch einer weiteren Betrachtung. Der N im Kot rührt von zwei Quellen her, von den Stoffwechselprodukten und den Resten des Nahrungsmittels. Auch bei einfacher Stärke- und Zuckerfütterung fand ich beim Menschen rund 1·39 g N pro Tag in den Ausscheidungen, was dem Stoffwechselanteil bei völlig ausreichender Fütterung mit Kohlehydraten und Fett entspricht. Im Kot dieses Versuchs waren 2·01 g N, die beiden Zahlen lassen sich nicht unmittelbar vergleichen, da sie ja bei verschiedenen Versuchspersonen gewonnen sind. Jedenfalls waren aber die 2·01 g N nicht allein Stoffwechselprodukte, denn in dem aus dem Kot hergestellten Zellmembranen war noch N enthalten, der nur als Eiweißrest der N-Verbindungen der gelben Rüben aufgefaßt werden kann. Auf 100 Teile Kot gerechnet waren in der Zellmembran noch 15·99 g Protein = 2·55 g N, auf 34·4 g trocknen Kot = der Tagesmenge berechnet also 0·87 gN. Diese müssen von dem Eiweiß der gelben Rüben herrühren (= 5·33 g N im ganzen) = 16·32 Prozent Verlust. Doch ist dabei zu bedenken, daß die Rüben ja nicht allen N als Protein enthalten. Nach meinen Bestimmungen sind 57·5 Prozent Proteinstickstoff vorhanden, 5·33 N also = 3·06 g Protein N in der Zufuhr bei 0·87 g N-Verlust = also 28·43 Prozent Verlust an Protein.

Zieht man von 2·01 g N im Kot obige 0·87 als Proteinverlust ab, so bleiben für die Stoffwechselprodukte im Kot als N übrig 1·14 g, diese Zahl weicht nicht erheblich von 1·39 g ab, was ich als Ausscheidung bei N-freien Kohlehydrat-Fettfütterung beim Menschen früher gefunden habe.

Auf 1 g Organisch des Kotes trifft 5·816 kg-cal. als Verbrennungswert. In der Zeitschr. f. Biol. XLII, S. 261, 1902, habe ich über den Zusammenhang zwischen der Verbrennungswärme der organischen Substanz des Kotes und der Ausnützung Angaben gemacht. Tritt höchstens ein Energieverlust von 8 Prozent ein, so behält die organische Substanz einen Brennwert von 6·193 kg-cal. per 1 g. Wird der Verlust größer, so sinkt bei vegetabilischen Nahrungsmitteln die Verbrennungswärme. Da der Energieverlust bei den gelben Rüben = 12·7 Prozent beträgt, so stimmt die Höhe der Verbrennungswärme des Kotes (5·816 Kal.) also sehr gut mit der von mir erkannten Regel, der Verlust ist größer als 8 Prozent und die Verbrennungswärme des Kotes kleiner als 6·193 kg-cal.

Es läßt sich berechnen, wieviel von den Ausscheidungen auf Stoffwechselprodukte und wieviel auf wirklich Unverdautes trifft.

Ausgeschieden wurden 28·15 g organische Kotbestandteile . . . . =		162·2 Kal.
davon 5·57 g Zellmembran, pro 1 g habe ich gefunden 3·955 Kal.	= 22 kg.-cal.	
außerdem war vorhanden 0·55 g Pentosan frei = × 3·9 Kal.	= 2·1 „	
und noch 5·5 g unverdautes Eiweiß × 5·8	= 31·9 „	
Summe	56·0 kg.-cal.	56·0
bleiben für Stoffwechselprodukte		106·2 Kal.

Im Verhältnis zu den täglich aufgenommen Kal. = 1278 kommen also 8·31 Prozent auf Stoffwechselprodukte und das Verhältnis des Gesamtverlustes des Kotes zu den Kalorien aus Stoffwechselprodukten ist 100 : 65·41. Die Hauptmasse der Verluste ist hier wie in allen anderen bis jetzt untersuchten Fällen die Masse der Stoffwechselprodukte, nicht das Unverdaute. Die Menge der Stoffwechselprodukte ist im Verhältnis zu der verzehrten Nahrung groß.

Die Menge der pro Tag verdauten Zellmembran betrug 88·4 g, was immerhin einen Verbrennungswert von 349·6 Kal. ausmacht, im Verhältnis namentlich zu den 1278 Kal. Tagesaufnahme sogar über $^1/_4$. Daß die berechneten 349·6 Kal. als Zellmembran aber etwa isodynam mit entsprechender Menge von Zucker und Stärke seien, ist ganz gewiß auszuschließen. Vorläufig habe ich keinen Anhaltpsunkt, ob ihnen überhaupt ein nennenswerter Nährwert zukommt. Die nächste Versuchsreihe wird Anhaltspunkte zur Beurteilung dieser wichtigen Frage geben.

Über die Verdaulichkeit des Wirsingkohles.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Im Jahre 1878 habe ich an einem Vegetarianer Dr. Br. einen Versuch über die Verdaulichkeit des Wirsingkohles ausgeführt. Der Wirsing wurde als Gemüse mit Fett zubereitet genossen. Die Versuchsperson nahm 3 Tage lang je 3824 g frischen Wirsing auf. = 406 g Trockensubstanz, mehr konnte sie nicht bewältigen. Das Ergebnis der Ausnutzung war nicht günstig im Verhältnis zu den animalischen Nahrungsmitteln und manchen vegetabilischen. Es wurden verloren 14·9 Prozent der Trockensubstanz und 14·1 Prozent der aschefreien Substanz, 18·5 Prozent an N und 15·4 Prozent an Kohlehydraten (inkl. Rohfaser uws.). Die Menge der organischen Trockensubstanz in den Ausscheidungen betrug pro Tag 59·2 g, eine erhebliche Menge im Verhältnis zu gut resorbierbarem Material.

Ein zutreffendes Bild der Verdaulichkeit erhält man nach dieser Untersuchung nicht, mehr eine allgemeine Charakteristik. Damals bei Ausführung des Versuchs, waren die Gesichtspunkte, die heute in Frage stehen, nicht bekannt. Ich habe daher einen neuen Versuch mit Wirsing angestellt, dessen Ergebnisse nachfolgend berichtet werden.

Über die Zusammensetzung des Wirsingkohles habe ich in dieser Zeitschrift 1915 S. 230 Angaben gemacht. Er enthält ziemlich viel Zellmembran, 27 bis 29 Prozent. Die Menge der sogenannten N-freien Extraktstoffe ist daher viel geringer als man bisher angenommen hat. Die Zellmembran weicht wenig von den Mittelwerten für Blattgemüse ab, enthält rund 42 Prozent Zellulose, die Pentosane sind größtenteils in der Zellmembran gebunden. Das Protein hängt nicht so innig mit der Zellmembran zusammen wie bei den Brotfrüchten, der Preßsaft ist reichlich und enthält 56·4 Prozent der überhaupt — von der Zellmembran abgesehen — vorhandenen organischen Stoffe, auch Pentosen gehen in diesen Zellsaft über.

Als Versuchsperson diente derselbe Mann (Soldat), der den im vorhergehenden berichteten Versuch mit gelben Rüben an sich ausge-

führt hatte. Doch zeigte sich auch hier die oft von mir schon berührte Grenze solcher Versuche.

Tabelle I.

Datum	Versuchstag	Nahrung	Urin ccm	N g	Zeit	Kot, Aussehen	g feucht	g trocken	
15. VII. 16	—	3 Liter Milch, 386 g Käse							
16. VII.	1.	2500 g Kohl fr., 40 g Mehl	1820	15·88					
17. VII.	2.	4500 g Kohl, 80 g Mehl	2420	15·89	12h 30'		94	10	
18. VII.	3.		1980	15·82	4 15		226	42	
19. VII.	4.	1500 g Kohl fr., davon zurückgewogen 1294 g gekocht[1]	1920	12·90	11 00	gute Abgrenzung, kleiner Rest Milchkot, Knollen im Versuchskot.	199	34	99 g trocken Wirsingkot I.
							50	13	
20. VII.	—	3 Liter Milch, 378 g Käse				Schlußabgrenzung nicht ganz scharf	74	21	= Wirsingkot II.
21. VII.		—			2 45				

Die Nahrung bestand aus Wirsingkohl, der mit kleinen Mengen Mehl verkocht wurde. Aus der vorstehenden Tabelle ergibt sich der Verlauf des Versuches.

An drei aneinanderfolgenden Tagen war die Aufnahme 2500 bis 2250 g Wirsing mit je 40 g feinem Mehl. Am 4. Tag versagte die Versuchsperson, sie konnte sich nicht mehr überwinden, das Gemüse weiter zu essen; der letzte Tag war also sozusagen ein Hungertag. Die Einnahmen wurden für die Verrechnung auf 4 Tage verteilt.

Im Tag wurden aufgenommen	154·2 g	Trockensubst. =	544·0 kg-cal.
31·2 g Mehl	28·1 ,,	,,	113·6 ,,
	182·3	,,	657·6 ,,

Organische Substanz 136·9 + 27·5 = 164·4 (im Mehl 0·58 g N und 0·92 g Zellmembranen).

Das Unvermögen, mehr Nahrung aufzunehmen, beruht auf dem völlig Abgegessensein. Die Gemüse haben zwar ausgeprägte Riech- und Ge-

[1] In der zurückgewogenen Substanz wurden N-Bestimmungen zur Berechnung der gegessenen Portion ausgeführt.

schmackstoffe, aber nicht solche von dauernder Wirkung, sie sind uns dem Wesen nach nicht zusagend, nicht wie jene von Brot oder Fleisch, an denen man sich nicht abißt.

Der Kot hatte kein auffälliges Aussehen, er war braungrün und enthielt reichlich Farbstoff aus der Nahrung.

Der verwendete Wirsingkohl war sehr reich an Zellmembran (30·1 Prozent), im allgemeinen gehört dieser Kohl zu den N-reichen Gemüsen. Nach meinen Bestimmungen enthält eine andere Probe als die oben verzehrte von 0·308 g N 0·181 Amid-N, also 58·7 Prozent von letzterem.

Die Zusammensetzung der verzehrten Probe ergibt sich aus folgender Tabelle:

Tabelle II.

Zusammensetzung des Wirsingkohles.

	In 100 Teilen trocken	In 154·2 g Trockensubstanz pro Tag
Asche	11·25	17·33
Organisch	88·75	136·87
Pentosen	10·85 = 9·58 Pentosan	16·73 = 15·19 Pentosan
N	5·76 = 36·02 Rohprot.	8·88
Zellulose	13·64	21·03
Zellmembran . . .	30·08 mit 5·65 g Pent.	46·38 mit 8·71 Pentosan
Restsubstanz . . .	10·79	16·64
Fett	(5·50)	(8·48)
Verbrennungswärme	352·9	544·0

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	45·31
Pentosan.	18·78
Rest.	35·91

Der Fettgehalt ist nach einer anderen Analyse ergänzt. Von dem Pentosan ist ein wesentlicher Teil in der Zellmembran enthalten. Zieht man alle näher bestimmten Stoffe von der organischen Substanz ab, so bleibt für N-freien Extrakt wenig übrig, nur 13·22 Prozent. Die Art der Zellmembran entsprach ziemlich dem früher angegebenen Mittelwert.

Über die Zusammensetzung der Ausscheidungen ergibt nachfolgende Tabelle Aufschluß (siehe Tab. III).

Die Ausscheidungen bestanden zu 13·8 Prozent aus Zellmembran, in üblicher Zusammensetzung, d. h. mit einem reichlicheren Zellulosegehalt wie die Zufuhr.

Tabelle III.

Zusammensetzung des Kotes.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 39·12 g Kot pro Tag
Asche	16·92	6·62
Organisch	83·08	32·50
Pentosen	9·27 = 8·18 g Pentosan	3·63 = 3·20 g Pentosan
N	6·10	2·39
Zellulose	6·93	2·71
Zellmembran . . .	13·85 mit 2·63 g Pentosan	5·42 mit 1·03 g Pentosan
Restsubstanz . . .	4·29	1·68
Fett	13·19	5·16
Verbrennungswärme	500·3	195·6

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	49·31
Pentosan	18·91
Restsubstanz	31·78

Betrachtet man nur die rohen Ergebnisse, so läßt sich auch der ältere Versuch mit heranziehen, die Kalorien habe ich dabei nach Maßgabe des vorliegenden Versuches berechnet. Der Kot liefert hier pro 1 g organisch 6·021 Kal., was mit meinen sonstigen Feststellungen gut übereinstimmt, der Kot hat also nicht den Charakter von Ausscheidungen, die etwa durch viel Unverdautes verändert sind. Auch daran allein erkennt man, daß auch hier eine ungünstige Resorption nicht vorliegt, das besagt ja auch der geringe Zellmembrangehalt.

Das Ergebnis lautet für den Versuch berechnet:

	Neuer Versuch	Älterer Versuch
organische Substanz	19·16 Prozent	14·1 Prozent
N	25·26 „	18·5 „
Kal.	29·74 „ [1]	25·33 „ [2]

Somit wäre hier der Verlust in jeder Richtung etwas größer gewesen. Doch wird nur die nähere Betrachtung der Ergebnisse Aufklärung bringen können. Beschäftigen wir uns zunächst mit dem Verhalten der Zellmembran

[1] Inklusive Mehl.

[2] 354 Organisches in der Aufnahme × 3·974 Kal. = 1407 pro Tag; Kot 59·2 g Organisch × 6·022 = 356·4 Kal.

Zu Verlust gegangen sind:

an Gesamtpentosen	20·50	Prozent
an Zellmembran	11·68	„
an Zellulose	12·93	„
an Pentosen der Zellmembran	11·81	„
an freien Pentosen	33·48	„

Die Zellmembran wird also ausgezeichnet resorbiert, ich erinnere im Gegensatz dazu an die recht dürftige Ausnutzung des Spinates bei Kindern, der obschon Zusammensetzung und Art der Zellmembran zwischen ihm und Wirsing eine weitgehende Annäherung zu erwarten erlaubte, kaum aufgenommen wurde. Man muß annehmen, daß der kindliche Darm nicht im entferntesten das geleistet hat, was uns hier bei dem Manne als Resorptionsgröße entgegentritt. Der reiche Zellmembrangehalt der Wurzel- und Blattgemüse verhält sich bei Erwachsenen offenbar grundverschieden von der schlechten Verdaulichkeit der Frucht- und Samenschale des Getreidekornes.

Die Menge der im Tag resorbierten Zellmembran betrug rund 41 g — also eine recht erhebliche Menge. Interessant ist das Verhalten der N-Ausscheidung. Da der Wirsingkohl so sehr arm an echten Kohlehydraten ist und offenbar auch die Zellmembran Umwandlungen im Darm erleidet, deren Produkte nicht alle zu den Kohlehydraten gehören, verhielt sich die Versuchsperson, als wenn sie — von den kleinen Mehlmengen abgesehen — nur mit einer eiweißhaltigen Kost gefüttert worden wäre, die N-Ausscheidung bleibt hoch und fällt nur an dem 4. Tag, der ja als Hungertag aufgefaßt werden kann, ab. Eine Kohlehydratwirkung auf die Eiweißzersetzung geben derartige Gemüse nicht.

Pro Tag wurden im Harn		15·86 g N	
	im Kot	2·39	
	im ganzen	18·25 g N	ausgeschieden.
Zufuhr an N		8·88	
	Verlust	9·37 g	

Der sehr muskelreiche, gut genährte Mann gab also im Mittel der drei Tage bei voller Wirsingkost 9·37 g N pro Tag vom Körper ab (unberechnet die N-Abgabe durch die Haut). Ähnlich verhielt sich auch die Person in meinen früheren Versuch, die

	20·0 g N	täglich ausschied
bei	13·2 g N	Zufuhr
also	6·8 g	pro Tag verlor.

Die nächste theoretisch wie praktisch wichtigste Frage bezieht sich auf die Bildung von Stoffwechselprodukten. Ist die mangelhafte Resorption auf den Verlust an Zellmembran oder auf Stoffwechselprodukte zu beziehen?

Pro Tag wurden im Kot ausgeschieden		195·6 Kal.
bestimmt wurden als Verlust 5·42 g Zellmembran[1]		
5·42 g Zellmembran × 3·956 =	21·44 Kal.	
2·2 g Pentosane × 3·9	8·58	
3·00 Protein × 5·8	17·40	47·4 Kal.
auf Stoffwechselprodukte treffen:		148·2 Kal.

Die Zufuhr pro Tag war inkl. Mehl 657·6 Kal., also Verlust an Stoffwechselprodukten 22·55 Prozent. Dieser Wert ist als enorm hoch zu bezeichnen, wenn man ihn mit den Verhältnissen bei den animalischen Nahrungsmitteln und den gut resorbierbaren vegetabilischen Nahrungsmitteln vergleicht. Die Stoffwechselprodukte machen hier 75·7 Prozent der Kotmasse aus, also mehr als sonst beobachtet wurde.

Einen geringen Einfluß muß aber der Umstand geübt haben, daß der 4. Versuchtssag sozusagen fast ein Hungertag war, wodurch zu den 3 Tagen mit voller Ernährung noch ein Mehr von Stoffwechselprodukten vom 4. Tag hinzukam. Das wird auch bei dem Vergleich zwischen den Ergebnissen meines früheren Versuchs und des vorliegenden (s. weiter unten) zu berücksichtigen sein. Bei den Mohrrüben waren bei dem gleichen Manne nur 106·2 Kal. an Stoffwechselprodukten und in Prozent nur 8·31 Prozent gekommen. In geringem Maße mögen hier die reichlichen Pflanzenfarbstoffe, welche im Kot ausgeschieden wurden, Einfluß geübt haben, doch erklärt dies nicht die großen Verluste. Man muß also annehmen, daß von diesen Gemüsen eine besondere Wirkung als Anreiz der Darmdrüsen ausgeübt wurde.

Die N-Ausscheidung im Kote war	2·39 g pro Tag
in der Zellmembran im Kot waren noch enthalten	0·47 g N
also für Stoffwechselprodukte	1·92 g N pro Tag

Der N-Verlust der Nahrung war bei 8·88 g Zufuhr und 0·47 g N-Verlust 5·28 Prozent, wovon freilich über die Hälfte der Zufuhr als Amid-N d. h. als unmittelbar resorbierbar in Anrechnung zu bringen wäre. Die Hauptmasse des N-Verlustes bezog sich also auf die Stoffwechselprodukte.

[1] Ich nehme hier den Wert für die Zellmembran der gelben Rüben 1 g = 3·956.

Die Verdaulichkeit der Kohlrüben beim Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

Von den Wurzelgemüsen habe ich in dieser Zeitschrift die Mohrrübe und ihre Verdaulichkeit nach neu angestellten Versuchen, die sich auf eine genaue Analyse des Kotes gründen, näher behandelt, ich bin dabei zu dem in erster Linie überraschenden Resultat gekommen, daß die Zellmembranen der Mohrrüben, obschon sehr reichlich vertreten, ungemein gut verdaulich sind, wodurch sich die Bedeutung der Mohrrübe als Nährmaterial günstiger stellt, als man nach den Ergebnissen über die Verdaulichkeit der Zellmembranen bei dem Getreide, Weizen wie Roggen, hätte erwarten sollen. Auch für den Wirsing hatte sich für den Erwachsenen ganz Ähnliches herausgestellt, während die Verhältnisse für den Spinat beim kindlichen Darm wenig günstige waren.

Ich kann nicht annehmen, daß die gute Resorption oder Auflösung der Zellmembran bei Mohrrüben und Wirsing nur etwa ein Zufall gewesen sei, der mir eine Person mit einem individuell besonders entwickelten Auflösungsvermögen für Zellmembranen in die Hände gespielt hat, ich habe aber doch eine sich bietende Gelegenheit benutzt, an einem weiteren Wurzelgemüse — der Kohlrübe — Versuche auf diesem Gebiete anzustellen und zwar an zwei gesunden Männern (Soldaten), die in wochenlangen anderen Experimenten unter anderen auch mit Broternährung in ihrer Art zu verdauen, mir gründlich bekannt und außerdem in diesen Versuchen jetzt sehr geübt waren.

Die Kohlrübe ist ja plötzlich zwangsweise zur Ernährung benutzt worden, seitdem im Winter 1916/17 sonderbarerweise für die Stadtbevölkerung nicht mehr genügende Mengen Kartoffeln geliefert wurden. Die Kohlrübe gehört nach ihren Geschmacksqualitäten zu den wenigst gesuchten Rübenarten, sie wird dort verzehrt, wo sie gut wächst und diente mehr als Viehfutter als zur menschlichen Kost. Ihr hoher Wassergehalt (Trockensubstanz Mittel 11·1 Prozent) unterscheidet sich ja auch von vielen verwandten

Rübenarten und mindert ihre Verwendungsmöglichkeit. Für ihre Wahl als „Ersatz“ der Kartoffeln liegen keine physiologischen Gründe oder Überlegungen vor, sondern nur der Zufall, daß eine schlechte Kartoffelernte und eine gute Rübenernte zusammenfiel, und das Brotgetreide wie nach der schlechten Ernte von 1915 vorenthalten wird.

Nach den Mittelwerten der Analysen bei König (Bd. II, S. 914) berechne ich für 100 Teile Trockensubstanz:

Asche	6·66	
Organisch	93·34	
N-Substanz	12·46	
Zucker	27·16	
N-freie Extrakte	66·28	(inkl. Zucker)
Rohfaser	12·94	
Fett	1·62	

Von dem N sind 35 bis 55 Prozent nicht proteinartige Substanzen, von dem Zucker ist mehr Glukose als Saccharose vorhanden. Das Mittel der von mir im Sommer 1916 analysierten Berliner Rüben (bei 10·3 Prozent Trockensubstanz) war nach Beseitigung der Außenschale, d. h. zum Kochen fertig:

Asche	3·77	
Organische Substanz	96·23	
N-Substanz	7·12	(= 1·14 g N)
Reinprotein	3·19	
Fett	1·50	
Kalorien	396·3	

Diese Sorte war also aschearm und arm an Eiweißstoffen und N überhaupt.[1] Roh werden diese Rüben wohl selten verzehrt, meist in gekochtem Zustande. Man sagt den Rüben nach, daß sie stark blähend wirken. Der scharfe Geruch an Rettig erinnnerd und der ausgeprägte Geschmack verlieren sich etwas beim Kochen. Diätetisch hat man sie früher benutzt, um „die Leibesöffnung in natürlichem Zustande“ zu erhalten.

Es existieren Angaben aus dem Anfang des vorigen Jahrhunderts über gelegentliche Verwendung der Rüben zur Verwendung beim Brotbacken bei Getreidemangel, wobei gesagt wird, daß man die Rüben am besten in Scheiben schneidet und mit Kohlrabischeiben mischt, zerstößt, das Wasser abpreßt, den Rückstand trocknet und mit 2 Teilen Roggenmehl mischt. Doch heißt es von solchem Brote: „Es ist zwar nahrhaft und auch wohlschmeckend, wird aber, wenn es mehrere Tage aufbewahrt wird, rauh, ge-

[1] S. Rubner, *Über den Nährwert einiger wichtiger Gemüsearten.* Berlin 1916.

rissen, unschmackhaft und der Verdauung lästig.“ Am besten trocknet man die Rüben überhaupt bei niederer Temperatur in lebhaftem Luftstrom im Faustschen Apparat, da sie dabei die geringsten Veränderungen erleiden. So getrocknet, lassen sie sich leicht pulvern, haben einen sehr ausgeprägten Geruch, der, wie erwähnt, etwas an Rettig erinnert.

Über die Verdaulichkeit dieser Rübensorten ist bislang nichts bekannt geworden, es sind daher die nachstehenden Versuche unternommen worden; ihre Ausführung stieß anfänglich auf große Schwierigkeiten, weil den Versuchspersonen die gekochten Rüben bald widerstanden. Später gelang es, die zu berichtenden, tadellosen Reihen durchzuführen. Zum Kochen wurde auch etwas Mehl, Zucker und Fett verwandt, so daß die Nahrung besser mundete. Es muß aber vorausgeschickt werden, daß trotzdem die genossenen Rübenmengen etwas unter der Menge blieben, die sich sonst mit ähnlichen Gerichten erreichen läßt. Bei der Wahl der Rüben muß man selbstverständlich darauf achten, daß nur gesunde und nicht verholzte Exemplare verkocht werden. Bei dem hohen Wassergehalt der Rüben kann man sie in ihrer eigenen Feuchtigkeit ohne weitere Zusätze zubereiten, wobei sie etwa im Nährwert nicht höher kommen, als eine Kartoffelsuppe; schon daraus folgt, daß natürlich der gefüllte Magen zwar momentàn die Empfindung des gestillten Appetits auslöst, daß aber die Zeit der Hungerstillung nur eine sehr beschränkte ist, die letztere hängt mit dem eigentlichen Nährstoffgehalt zusammen.

In nachstehender Generaltabelle sind die wesentlichen Daten der Versuche eingetragen.

Die eine Person nahm 7 Tage, die andere 5 Tage die Rübenkost, die kürzere Dauer des einen Versuchs war durch zufällige Umstände (Abkommandierung) veranlaßt worden. Über besondere Beschwerden (abgesehen von dem Einerlei der Kost) wurden keine Angaben gemacht, doch mag das seine Erklärung darin finden, daß die Personen auch sonst Begleiterscheinungen, wie erhöhter Flatulenz keine besondere Bedeutung beizulegen schienen. Bei 10·3 Prozent Trockensubstanz kam trotz der nicht unerheblichen Speisemasse doch nur relativ wenig Nahrung zur Aufnahme, in den Rüben allein noch nicht $^1/_4$ des Gesamtbedarfs, damit war die Grenze der Leistungsfähigkeit erreicht. Auch mit den Zutaten von Zucker, Mehl und Fett kamen die Leute noch nicht auf $^1/_3$ ihres sonstigen Nahrungsbedarfes. Die Gewichtsabnahme war nicht unbeträchtlich, vermutlich wurde aber auch noch Wasser angesetzt, worüber später noch einiges zu sagen ist. Von den Rüben wurden jeden Tag ein bestimmter Teil weggenommen und im Faustschen Apparat getrocknet; dieser Teil diente zu der weiteren Analyse.

Kohlrüben. Oehm.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Kalorien aus Rüben	Kalorien aus Zucker	Kalorien aus Fett	Kalorien aus Mehl	Summe der Kalorien	N in den Rüben	Harn ccm	Harn g N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
18.XII.16	1.	70	1500 g Rüben, 15 g Zucker, 10 g Fett, 15 g Mehl	631	60	95	59	845	2·1	1410	9·6	—	—	—
19.XII.	2.		1500 „ 10 „ 20 „ 15 „	631	40	190	59	920	2·1	2760	8·4	1h 00′ n.	174	39
20.XII.	3.	69½	2000 „ 15 „ 30 „ 20 „	841	60	285	78	1264	2·8	2780	6·5	12 30 n.	170	35
21.XII	4.		1500 „ 10 „ 30 „ 20 „	631	40	285	78	1038	2·1	2710	5·8	10 30 v.	357	47
22.XII.	5.	68½	1500 „ 10 „ 30 „ 20 „	631	40	285	78	1034	2·1	2000	3·9	—	—	—
23.XII.	6.		— — — —	—	—	—	—	—	—	—	—	11 30 v.	131	36
		Summe	8000 g frisch	3365	240	1140	—	5101	—	—	—	—	—	—
		pro Tag	= 824 Trockensubstanz	673	48	228	—	1020	—	—	—	—	—	—

Kohlrüben. Schönherr.

4000 g frische Rüben = 432 g lufttrockenes Mehl = 10·8 Prozent lufttrocken × 95 = 10·3 Prozent absol. trocken.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Kalorien aus Rüben	Kalorien aus Zucker	Kalorien aus Fett	Kalorien aus Mehl	Summe der Kalorien	N in den Rüben	Harn ccm	Harn g N	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
16 XII. 16	1.	69	1500 g Rüben[1], 5 g Zucker, 10 g Fett, 15 g Mehl[2]	631	20	95	59	805	2·1	1580	7·0	—	—	—
17.XII.	2.		1500 „ 15 „ 10 „ 15 „	631	60	95	59	845	2·1	1700	7·0	—	—	—
18.XII.	3.	68½	1500 „ 10 „ 10 „ 20 „	631	40	95	78	844	2·1	2580	7·3	2h 15′ v.	89	19
												10 30 v.	384	44
												6 45 n.	450	35
19.XII.	4.		2000 „ 10 „ 15 „ 15 „	841	40	142	59	1082	2·8	2100	4·4	—	—	—
20.XII.	5.		2000 „ 10 „ 30 „ 20 „	841	40	285	78	1244	2·8	2600	5·4	2 05 n.	544	54
21.XII.	6.	68	2000 „ 10 „ 30 „ 20 „	841	40	285	78	1244	2·8	2540	4·8	—	—	—
22.XII.	7.		2000 „ 5 „ 30 „ 20 „	841	20	285	78	1224	2·8	2660	4·9	10 00 v.	458	53
												10 15 n.	221	31
23.XII.	8.		— — — —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Summe	12500 g Rüben, 65 g Zucker, 135 g Fett, 125 g Mehl	5257	260	1282	489	7288	—	—	—	—	—	—
			pro Tag	771	37	183	70	1041	—	—	—	—	—	—

[1] Geschält, klein geschnitten und gekocht, 100 g frisch — 42·07 Kalorien.

[2] Weizenmehl 00 100 g Mehl = 392·2 Kalorien.

Die Analysen der Nahrung und des Kotes der beiden Versuchspersonen sind in nachstehender Tabelle zusammengefaßt.

In 100 Teilen tr. Kohlrüben sind:		In 165 g Trockensubstanz Person Oehm	In 185·6 g Trockensubstanz Schönherr
Asche . . .	5·16	8·51	9·57
Organisch . .	94·84	156·49	176·03
N	1·36 = 8·49 Rohprotein	2·24	2·52
Pentosan . .	7·41	12·22	13·75
Zellmembran	22·19 mit 4·59 Pentosan	36·60 mit 7·74 Pentosan	41·17 mit 8·52 Pentosan
Zellulose . .	12·21	20·14	22·66
Restsubstanz	6·01	9·72	10·00
Fett	1·49	2·47	2·79
Kalorien . .	408·5	674·0	758·2

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	55·07
Pentosan	20·67
Restsubstanz	24·25

In der Trockensubstanz des Kotes:

	In 100 Teilen Oehm[1]	In 100 Teilen Schönherr[2]	in 31·4 Teilen Oehm[3]	in 31·2 Teilen Schönherr[4]
Asche	12·38	16·60	3·88	5·18
Organisches .	87·62	83·40	27·52	26·02
N	5·44	4·51	1·71	1·41
Pentosan . . .	5·37	3·98	1·68	1·24
Zellmembran .	10·77 mit 2·68 Pentosan	24·72 mit 2·18 Pentosan	5·89 mit 0·84 Pentosan	7·91 mit 0·68 Pentosan
Zellulose . . .	10·00	14·05	3·14	4·38
Restsubstanz .	6·09	8·49	1·91	2·85
Fett	12·81	6·75	4·02	2·10
Kalorien . . .	519·2	480·3	162·8	149·9

In 100 Teilen Zellmembran:

	Oehm	Schönherr	Mittel
Zellulose	53·28	56·84	55·06
Pentosan	14·27	28·74	11·50
Restsubstanz	32·45	34·42	33·44

[1] Kot 3·3 Prozent Stärke.
[2] „ 2·9 „ „
[3] Kot 1·04 g Stärke
[4] „ 0·90 „ „

Die verwendete Kohlrübensorte war erheblich N-reicher wie die Sorte des Sommers 1916. Der Zellmembrangehalt ist an sich groß, bewegt sich aber doch in den Grenzen, wie sie auch bei anderen Rübensorten von mir gefunden worden sind. Erheblich ist der Zellulosegehalt. Im Vergleich zum Brotgetreide finden sich hier 2 bis 3mal so viel Zellmembran und entsprechend auch viel mehr Zellulose. Die Zellmembran ist etwas reicher an Zellulose wie jene der Mohrrüben, mit der sie sonst übereinstimmt.[1]

100 Teile Zellmembran der Mohrrübe enthalten:

Zellulose	42—45
Pentosan	22—26
Rest	35—29

Über die Hälfte des Pentosans ist in der Zellmembran enthalten. Die Menge des Preßsaftes wurde nicht festgestellt, es ist aber ohne weiteres klar, daß sie sich innerhalb der bei anderen Rübenarten bestimmten Grenzen halten, oder eher noch reicher sein wird. Es ist also an sich ein Teil der Rübenbestandteile ohne weitere Verdauung resorbierbar.

Der Kot war relativ spärlich, auch nicht gasig aufgetrieben. Die Ausscheidungen waren reich an Zellmembran, die $^1/_4$ bis $^1/_5$ der trocknen Kotmasse ausmachten. Die tägliche Kotausscheidung (30 bis 31 g Trockensubstanz) war an sich mäßig, allerdings war auch die Nahrungsaufnahme sehr klein. Stellt man die Versuchsregebnisse in sonst üblicher Weise zusammen und zwar die Verluste berechnet auf die verzehrten Kohlrüben, so ist das Resultat:

Von 100 Teilen gehen zu Verlust bei Kohlrüben:

	bei Oehm	bei Schönherr	im Mittel
von organischer Substanz . . .	17·5	14·7	16·1
„ N	76·34	55·95	66·2
„ von Pentosan (insgesamt) .	13·7	9·7	11·7
„ den Kalorien	24·13	19·77	21·95

Auffallend hoch war der Ätherextrakt des Kotes.

Person Oe. unterschied sich darin wesentlich von Sch. Mit dem Nahrungsfett hängt diese Ausscheidung nicht zusammen, denn so kleine Fettmengen wie 20 bis 30 g im Tag wie hier verabreicht, werden restlos resorbiert. Die Versuchsperson Oe. hat in jeder einzelnen Substanz einen größeren Verlust aufzuweisen als Person Sch. Wenn man mit diesem Ergebnis die Versuche mit Brot vergleicht, so findet man, daß sich diese individuellen Unterschiede

---

[1] S. *dies Archiv*. 1915. Physiol. Abtlg. S. 212 und S. 267.

mit den dortigen Ergebnissen decken. Oe. resorbiert zumeist weniger gut als Sch., ersterer scheidet auch relativ mehr an fettartigen Abfallprodukten aus, wovon namentlich die Kalorienwerte der Ausnützung beeinflußt werden. Die Ausnützung der Kohlrübe kann nicht als günstig bezeichnet werden, sie wird sich bei mehr verholzten Exemplaren noch ungünstiger stellen. $^1/_5$ der ganzen Substanzmenge beträgt der Verlust im Kot.

Wir sind in der Lage, im einzelnen zu begründen, worauf diese ungünstige Verdauung beruht. Zunächst möchte man vermuten, daß vielleicht eine schwierige Resorbierbarkeit der Zellmembran vorliegt; wenn wir aber die Ergebnisse der Ausscheidung der letzteren nach den Analysen betrachten, so ist das ganz und gar nicht der Fall.

Von 100 Teilen der Zellmembran und ihrer Bestandteile gehen bei Kohlrüben zu Verlust:

	bei Oehm	bei Schönherr	im Mittel
Zellmembran	16·1	18·7	17·4
Zellulose	15·5	19·4	17·4
Pentosan der Zellmembran . .	10·8	7·98	9·4
Restsubstanz	41·4	21·0	31·2
freies Pentosan	18·8	10·7	14·7

Ist auch die Zellmembran der Kohlrübe nicht so gut wie die der Mohrrübe oder des Wirsings verdaulich, so ist die Aufnahme doch als sehr günstig anzusprechen, wenn man ihre Verdaulichkeit mit der Kleie des Brotgetreides vergleicht.

Auch die Zellulose ist weitestens aufgelöst, ebenso das Pentosan der Zellmembran, nur die Restsubstanzen sind weniger gut aufgenommen. Es fällt auch bei der Darstellung der Zellulose und dem Erhitzen mit NH_3 die tiefbraune Farbe auf, die stets als ein Zeichen reichlicher Ligninbeimengung gelten kann. Die ungünstige Auflösung der freien Pentosane ist wieder nur eine scheinbare, die Pentosane der Zellmembran sind zwar von dieser abgetrennt, und in den angewendeten Lösungsmitteln aufgelöst worden, sind aber wohl einfach nach der Verdauung der Zellmembran in den unteren Partien des Dickdarmes liegen geblieben.

Die im Darm liegen gebliebene Zellmembran zeigt in ihrer Zusammensetzung nicht nennenswerte Unterschiede von der eingeführten. Die Menge der täglich resorbierten Zellmembran beträgt bei Oe. 30·7, bei Sch. 36·3 g, nimmt man für die reine Zellmembran 4·1 Kal. an, so beträgt der Energiegewinn 125·8 bis 148·8 Kal., wovon aber ein Teil durch Vergasung bei der Zellulosegärung noch zu Verlust geht, auch dürfte wohl auf diesen Vorgang das Anwachsen des Ätherextraktes mit bezogen werden.

Die ungünstige Gesamtausnutzung der Kalorien kann also nicht auf unresorbierte Zellmembran bezogen werden, es ist das ein eklatantes Beispiel dafür, daß die Zellmembran durchaus nicht der Grund zu ungenügender Verwertung eines Nahrungsmittels abzugeben braucht.

Außerordentlich ungünstig ist die N-Ausnutzung. 66·2 Prozent Verlust ist enorm groß, praktisch betrachtet sind also diese Rüben überhaupt keine N-Quelle mehr zu nennen.

Es ist aber sehr wohl möglich, daß sogar der resorbierte N zum Teil oder ganz aus Amidsubstanzen, die ja in in Wasser löslicher Form in den Säften der Rüben enthalten sind, besteht, und daher im Harn wieder ohne wesentlichen Nutzen austreten. Auf die große Menge der Amidsubstanzen wurde schon hingewiesen. Die im Kot enthaltenen Zellmembranen schließen auch nach Behandlung mit den Lösungsmitteln immer noch N ein, der nur auf unverdauliche Reste der Nahrung zurückgeführt werden kann (u. Bakterien N?). Man kann hierüber und über die Beziehungen dieses unresorbierbaren N zum eingeführten N folgende Betrachtung anstellen.

Person	In der Zellmembran				N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in der Zufuhr	Prozent-Verlust an Protein	Prozent N in Stoffwechselprodukten
	auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N					
Oehm	12·47	31·4	3·91	0·62	1·71	1·09	2·24	27·6	63·7
Schönherr	15·7	31·2	4·89	0·78	1·41	0·63	2·52	25·0	44·7
Mittel	14·1	31·3	4·40	0·70	1·56	0·86	2·38	26·3	54·2

Dieses Festhalten von Protein-N in den Zellmembranen ist, wie sich jetzt allmählich aus vielen Beispielen ergibt, stets zu finden. Ja, man könnte sagen, daß relativ recht viel zurückbleibt, je proteinärmer die Zellen sind. Das kann nur dadurch erklärt werden, daß der Protoplasmaschlauch in den Pflanzenzellen in irgendeiner Weise fest an die Zellwand gebunden ist. Er wird beim Durchgang durch den Dünndarm gar nicht gelöst und erst bei der Zersetzung im Dickdarm mit dem Zerfall der Zellmembran frei.

Wenn man sonach das Protein des Kotes mit der N-Zufuhr vergleicht, ist ein Verlust von 26·3 Prozent im Mittel vorhanden. Dabei ist aber die gesamte N-Zufuhr als Protein gerechnet, was unrichtig ist, nur die Hälfte trifft auf Protein, also ist die Resorption doppelt so ungünstig und es werden nur rund die Hälfte der Eiweißstoffe als verdaulich anzunehmen sein. Bei den Mohrrüben fand ich unter derselben Voraussetzung nur 28·4 Prozent Proteinverlust im Verhältnis zur Proteinaufnahme. Über die Hälfte des

Kot-N stammt nicht aus der Nahrung, sondern ist als Stoffwechselprodukt aufzufassen, das stimmt mit den von mir auch sonst neuerdings gemachten Beobachtungen, überein.

Dies gibt Anlaß, die Stoffwechselprodukte überhaupt in der Weise festzustellen, wie dies in der vorhergehenden Abhandlung bereits geschehen ist.

Die Menge der gesamten Stoffwechselprodukte läßt sich in Kalorien ausgedrückt aus nachfolgender Zusammenstellung ersehen.

Person	Verlust an Kalorien im Kot				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot aus Stoffwechsel	Verzehrte Kalorien im Tag	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kal. im Kot sind Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
Oehme	4·26	27·85	3·27	33·38	162·8	127·4	674	18·90	78·2
Schönherr	3·69	37·66	2·18	43·53	149·9	106·4	758	14·04	70·9
Mittel	3·97	32·75	2·72	39·45	156·3	116·9	716	16·47	74·5

Die Stoffwechselprodukte sind im Verhältnis zur eingeführten Nahrung sehr reichlich, sie machen 16·5 Prozent der Kohlrübenzufuhr nach Kalorien bemessen aus, während z. B. bei den Mohrrüben nur 8·31 Prozent auf solche Produkte trafen, also bei ersteren doppelt so viel wie bei letzteren, obgleich die Verluste an Unverdaulichem bei Mohrrüben und Kohlrüben sehr nahe übereinstimmen. Diese Bildung von Stoffwechselprodukten hängt also, wie es sich mehr und mehr herausstellt, nicht mit den Nahrungsstoffen, sondern wohl eher mit den Extraktivstoffen des betreffenden Materials zusammen. Von den Nahrungsstoffen könnte ja nur das Eiweiß, wenn es in größerer Menge verzehrt wird, auf eine Mehrung des Umsatzes in den Drüsen freilich mehr im aktiven Sinne wirken, während bei den Vegetabilien solche Einflüsse nicht in Frage kommen und bei so nahe verwandten Nahrungsmitteln wie Mohrrüben und Kohlrüben gar keine Bedeutung hätten. Auch folgende Zusammensetllung zeigt noch die völlige Belanglosigkeit der Zellmembran für diese Vorgänge. Gesamtkalorienverlust bei Mohrrüben = 12·68 Prozent der Zufuhr — Stoffwechselprodukte = 8·31, gibt 4·37 Prozent Unverdauliches, bei den Kohlrüben 21·95 Prozent Gesamtverlust — 17·02 Stoffwechselprodukte = 4·93 Prozent Unverdauliches. Somit liegt der Unterschied der Verdaulichkeit vor allem in den reichlichen Stoffwechselprodukten der Kohlrübenkost, was auf eine stärkere Reizung der Resorptionsorgane schließen läßt. Für die Deckung der Eiweißbedürfnisse haben selbst so große Nahrungsaufnahmen wie 1500 bis 2500 g Kohlrüben

Die Verdaulichkeit der Kohlrüben beim Menschen.

Oehm.

Tag	N der Einfuhr	N im Harn	N im Kot	Summe der Aufnahme	Bilanz
1.	2·1	9·6	1·71	11·31	— 9·2
2.	2·1	8·4	1·71	10·1	— 8·0
3.	2·8	6·5	1·71	8·2	— 5·4
4.	2·1	5·8	1·71	7·5	— 5·4
5.	2·1	3·9	1·71	5·6	— 3·5

Schönherr.

Tag	N der Einfuhr	N im Harn	N im Kot	Summe der Aufnahme	Bilanz
1.	2·1	7·0	1·41	8·41	— 6·3
2.	2·1	7·0	1·41	8·4	— 6·3
3.	2·1	7·3	1·41	8·7	— 6·6
4.	2·8	4·4	1·41	5·8	— 3·0
5.	2·8	5·4	1·41	6·8	— 4·0
6.	2·8	4·8	1·41	6·2	— 3·4
7.	2·8	4·9	1·41	6·3	— 3·5

pro Tag gar keine Bedeutung. Die Versuchspersonen befanden sich ungefähr im Zustande des Eiweißhungers. Mann Oe. büßte in 5 Tagen 31·5 g N (ohne N-Verlust durch die Haut) und Mann Sch. 33·1 g N ein. Der Kalorienwert aller Nahrung betrug 1020 bis 1040 Kal. im Tag. Nach Abzug der Kotkalorien verblieben als verwendbar 857 bis 891 Kal. Die Personen haben also reichlich Fett eingebüßt. Außerdem sind unter der berechneten Nahrung 30·7 bzw. 33·3 g resorbierte Zellmembran (12 bis 13 Kal. entsprechend), die man als vollwertige Nährstoffe nicht ansehen kann, wenn schon dieser Umstand wenig ins Gewicht fällt.

Über die Verdaulichkeit der Erdbeeren und der Äpfel beim Menschen.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

Das Obst habe ich seiner Hauptmasse nach stets als ein wesentliches Mittel zur Hebung der Geschmacksqualitäten einer Beköstigung betrachtet, während man den energetischen Wert der im Durchschnitt verzehrten Obstmenge bei unserer Bevölkerung nur sehr bescheiden veranschlagen kann. Speziell bei dem Städter ist Obst, von wenigen Sommermonaten abgesehen, mehr ein Genußmittel als eine quantitativ beachtenswerte Beisteuer zum Unterhalt. Ähnliches gilt selbst von den Trockenkonserven und den in Zucker eingemachten Früchten, deren Genuß schon einen gewissen Wohlstand voraussetzt.

Über die Gesamtbedeutung des Obstes in der Volksernährung bestehen ganz übertriebene Vorstellungen; Inlandsprodukte und Import zusammen genommen lieferten vor dem Krieg etwa 84 Kal. pro Kopf und Tag, davon sind $^3/_4$ im Krieg geblieben, also 63 Kal., deren Menge auch bei sorgsamster Kultur sich nicht plötzlich vermehren läßt, denn zur Hebung der Obstkultur gehört vor allem Zeit.

Auch dort, wo man frei von pekuniären Rücksichten Obst in jeder Form genießen kann, stehen gewisse Eigentümlichkeiten einer zwanglosen Verwendung im Wege.

Je nach der Art des Magens wird Obst wegen seines mitunter hohen Säuregrades oft recht schlecht vertragen oder es kann dann nur in kleinen Mengen aufgenommen werden. Weiter kennt man viele Fälle, in denen Rohobst wegen der abführenden Wirkung vermieden werden muß. Solche Einflüsse kommen auch bei vorher getrocknetem Obst vor, ja sie werden bei diesen mitunter, wie bei den getrockneten Pflaumen, noch hervortretender. Auch der gegenteilige Einfluß kommt vor, eine stark stopfende Wirkung,

solche habe ich bei Haselnußfütterung beim Hund und C. Thomas bei Bananenfütterung am Menschen gesehen.

Daraus folgt, daß die Bedeutung als Nährmittel einer weitgehenden Beschränkung unterworfen ist. Nach meinen Erfahrungen werden auch bei Leuten mit reichlichen regelmäßigem Obstgenuß wohl kaum mehr als $^1/_{10}$ des Nahrungsbedarfes im Durchschnitt von Wochen oder Monaten durch dasselbe erreicht.

Die Hauptnährstoffe des Obstes sind die leicht aufnehmbaren Zucker, dann die organischen Säuren, welche die erfrischende durststillende Wirkung haben, das Eiweiß ist außerordentlich spärlich vorhanden. Soweit meine Untersuchungen reichen, wiegt das Protein gegenüber amidartigen Stoffen vor. Behauptungen, wie die in der Kriegszeit gehörten, daß Obst ja Fleisch ersetzen könne, sind Dinge, über welche Worte zu verlieren, unnötig ist; gehören doch die Obstarten, von den Nüssen abgesehen, zu den an N allerärmsten Nahrungsmitteln.

Als Volksnahrungsmittel kommt nur die Banane in einigen Teilen der Tropenländer in Betracht. C. Thomas hat darüber eingehende Experimente an sich selbst angestellt.[1] Die Banane nimmt eine Ausnahmestelle ein, insofern sie im unreifen Zustand $^4/_5$ ihres Trockengewichtes an Stärke enthält und dann roh allerdings sehr schlecht verdaulich ist, weil die rohe Stärke nur unvollkommen aufgeschlossen wird. In reifem Zustande enthält sie Zucker, wodurch sich ihre Verdaulichkeit hebt. Obschon die Banane zu den gehaltvollen Obstsorten gehört, war es nicht möglich, für eine kräftige Persönlichkeit und bei gutem Körperbestand in ein N-Gleichgewicht und auf eine genügende Kalorienzufuhr zu kommen.

Im günstigsten Falle war der Verlust bei der Verdauung:

7·7	Prozent	Trockensubstanz,
8·93	„	der Kalorien,
54·44	„	des N.[2]

Keine andere, zumal keine bei uns vorkommende Frucht erreicht eine ähnliche Bedeutung, wie sie die Banane in den Tropen besitzt. Die schlechte Verdaulichkeit der unreifen stärkehaltigen Banane, wobei 97·34 Prozent des Stärkemehls wieder mit dem Kot entleert werden, kann durch Dämpfen und Braten, wobei die Stärke verkleistert wird, aufgehoben werden. Von einheimischen Früchten habe ich die Haselnußkerne einer näheren Untersuchung, allerdings vorläufig nur beim Hunde, unterzogen und gefunden, daß die Zellmembranen außerordentlich gut resorbiert werden, und daß auch

[1] *Dies Archiv.* 1910. Physiol. Abtlg. Sep.-Expl. S. 29.
[2] *Ebenda.* 1910. Physiol. Abtlg. S. 33.

die Eiweißstoffe bis auf wenige Prozente durch die Verdauung aufgenommen werden, ich trage keine Bedenken, dies auf die verwandten Walnüsse zu übertragen. Doch gilt dies nur für gut zerkleinertes Material.[1] Bei dem hohen Proteingehalt von 19·44 Prozent der Trockensubstanz und 67·72 Prozent Fett gehören also die Nußkerne zu den Mitteln, welche sonst N-arme vegetabilische Kost an Eiweiß anzureichern in der Lage sind. Praktisch betrachtet, sind freilich die Nüsse als Nahrungsquelle der Bevölkerung so gut wie belanglos; wenn man die Ernten auch recht hoch einschätzt, kommt wohl kaum mehr als 0·8 g Nußfett und 0·2 bis 0·3 g Protein pro Kopf und Tag der Bevölkerung und keine Steigerung des Ertrages vermag nennensewert mehr zu liefern. Damit ist ungefähr erschöpft, was wir über die Verdaulichkeit am Obst bisher auf Grund von besonderen darüber angestellten Versuchen wissen.

Es ist in hohem Maße auffallend, daß gerade die Vertreter besonders eigenartiger Ernährungssysteme, die auf das Obst bei der Ernährung zurückgreifen, so gar nichts zur wirklichen experimentellen Erkenntnis der Verdaulichkeit solcher Nahrungsmittel beigetragen haben. Was wir bisher wissen, ist gelegentlich von den physiologischen Laboratorien festgestellt worden. So ist es selbst mit dem ältesten der besonderen Ernährungssysteme, mit dem Vegetarismus, gewesen. Die ersten Versuche über die Verdaulichkeit von Gemüsen habe ich an einem Vegetarianer angestellt, später habe ich die Verdaulichkeit des Brotes der englischen Wholemeal Bread reform ligue festgestellt, weiterhin haben Voit und Konstantinidi einen Vegetarianer und einen Nichtvegetarianer bei vollkommen gleicher vegetarischer Diät verglichen, Caspari hat die vegetarische Diät bei einem Vegetarianer untersucht. Das alles ist noch relativ wenig, wenn man bedenkt, wie vielerlei eigenartige Ernährungsformen in die Welt gesetzt worden sind und wie umfangreich diese populäre Literatur ist und wie die Propaganda ins Volk getragen wird.

Bei der in der Kriegszeit in den Sommermonaten (1916) aufgetretenen Agitation, das Obst in verstärktem Maße zur Ernährung heranzuziehen, schien es mir geboten, wenigstens in ein paar Fällen unsere Kenntnis objektiv zu erweitern.

A. Über die Verdaulichkeit der Erdbeeren.

Unsere Obstsorten können wie erwähnt, im allgemeinen nur einen mäßigen Anteil an der Ernährung nehmen, auch wenn wir sie in noch so großer Fülle Verfügung hätten. Zu Versuchen wurde ein Kollege in der Hochflut der

---

[1] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 272.

Obstagitation zu einem mehrtägigen Versuch mit Obst und Gemüse angeregt, und hatte, wie er sagte, sich ausnehmend wohl dabei befunden. Er aß die nachstehend aufgeführten Nahrungsmittel frei nach seinem Sättigungsgefühl. Es ergab sich bei näherer Betrachtung der Zahlenwerte der Zufuhr genau das, was ich schon für das Gemüse vor Jahrzehnten, wie in neuen Versuchen gesehen hatte: die voluminöse Kost gibt jedesmal eine starke Füllung des Magens, und wenn noch das Moment der Neuheit solcher Experimente hinzukommt, so wird der leichte partielle Hungerzustand in seiner Erscheinung als eine Art Erleichterung gegenüber der sonstigen Ernährungsart gedeutet und der Anschein einer genügenden Kost erweckt.

Die Durchrechnung der Zahlen ergab, daß weder die Eiweißzufuhr noch der Kaloriengehalt auch im entferntesten zureichend war, um das bescheidenste Bedürfnis zu decken. Zum Frühstück und Nachmittag wurde Kaffee mit wenig Milch genossen, außerdem waren neben Obst noch Mohrrüben, einmal in fünf Tagen auch Kohlrüben gegessen worden.

In 5 Tagen waren	500 g Milch	1500 Kohlrüben
	2625 g Äpfel	625 g Backobst
	2000 g Birnen	200 g Zucker
	1500 gelbe Rüben	100 g Mehl
		und 30 g Fett

verbraucht worden, welche zusammen genommen folgenden Nährstoffen und Kalorienwerten entsprechen:

	N-Substanz	Fett	Kohlehydrate	kg-cal.
	74·0 g N-Substanz,	36·9 g Fett,	1458·4 g Kohlehydrate,	6630 kg-cal.
pro Tag	14·8 „	7·3 „	291·6 „	1326 „

Die Versuchsperson war sehr mager, sie wiegt nackt etwa 55 Kilo bei 175 cm Körpergröße, sie würde, wenn man auch nur den Hungerstoffwechsel und Ruhe in Betracht zieht, 1650 kg-cal. brauchen, zieht man von den verzehrten 1326 kg-cal. etwa 8 Prozent für Verlust im Kot ab, so bleiben nur 1221 Kal. pro Tag übrig. Da aber die Versuchsperson ihrer ärztlichen Praxis nachging, so wird der Stoffumsatz mindestens 1920 (Rein)Kalorien ausgemacht haben, die Nahrung hat also rund $^{6}/_{10}$ des Bedarfs gedeckt. Dabei waren täglich 158 Kal. in Rohrzucker verzehrt worden, 54 Kal. in Butterfett und 66 Kal. in Milch, so daß 288 Kal. auf Animalien und 933 auf Vegetabilien, von denen das Obst die Hauptmasse ($^{8}/_{10}$) ausmachte, treffen. Waren von den 933 kg-cal. günstigenfalls 858 verdaulich, so kommen von dem Bedarf nur 45 Prozent auf die Mischung von Obst und Gemüse, damit war die Grenze der Sättigung erreicht. Bei dem großen Defizit an Kalorien überhaupt (rund 700 p. Tag) wäre eine längere Durchführung dieser Ernährung unmöglich gewesen.

Minimal war der eingeführte N, obschon noch etwas Milch aufgenommen worden war = 2·3 g N pro Tag, womit man mit Rücksicht auf den noch nicht erwähnten N-Verlust im Kot (und Schweiß) unter keinen Umständen ein N-Minimum erreichen kann, die Kost hätte also auch nach dieser Richtung nach vielen Wochen zu einem Zusammenbruch geführt. Wodurch das Hungergefühl unter diesen Umständen so weit gedämpft wird, läßt sich natürlich nach den Angaben einer Versuchsperson vorläufig nicht entscheiden. Jedenfalls spielte dabei das große Volum für den an ähnliche Nahrung nicht gewöhnten Magen die Hauptrolle. Genaue Aufschreibungen darüber wurden nicht gemacht, aber man wird es mit 2200 g pro Tag nicht zu hoch veranschlagen, darüber gingen im Genuß bei Gemüsen meine kräftigen Soldaten auch nur ausnahmsweise und vorübergehend hinaus, wenn man die Nahrungsaufnahme nicht forcierte.

Die gleiche Versuchsperson hatte sich dankenswerterweise erboten, auch ein Experiment mit ausschließlich einheitlicher Obstnahrung durchzuführen. Schon K. Thomas hat bei Kirschen die Beobachtung gemacht, daß bei frischem Obst erhebliche Widerstände entgegenstehen. Vor allem wirkt manchmal die große Menge von Säuren, welche viele Obstsorten enthalten, in hohem Maße störend. Thomas hat daher damals einen Teil der Säuren neutralisiert, um die unvermeidlichen Magenstörungen durch die großen Säuremengen zu beseitigen. Das neue Experiment sollte mit Erdbeeren zur Durchführung gebracht werden. Es gelang dies aber insofern unvollkommen, als ein reichlicher ausschließlicher Genuß dieser trefflichen Frucht bald widersteht. Es verhielt sich dabei genau wie mit den Gemüseversuchen, deren ich eine ganze Reihe mit ganz den gleichen Ergebnissen ausgeführt habe; ohne weitere Zusätze von anderen Nahrungsmitteln ist eine genügende Ernährung nicht zu erreichen, die Nahrung widersteht, noch ehe eine ausreichende Menge aufgenommen oder die Grenze guter Resorbierbarkeit erreicht ist, der Charakter der Beikost ist also hier ganz besonders scharf ausgeprägt. Über den Gang des Versuches gibt nachfolgende Tabelle Aufschluß.

Datum	Tag	Einnahme			
		Zucker g	Erdbeeren g	Kaffee Tassen	Milch
6.— 7. VII. 1916	0.	—	—	—	$2^1/_2$ Liter
7.— 8. VII.	1.	450	2400	2	30 g
8.— 9. VII.	2.	190	2500	2	30 „
9.—10. VII.	3.	60	2300	2	30 „
10.—11. VII.	4.	120	2500	2	30 „
11. VII.	5.	—	—	—	$2^1/_2$ Liter

Von den verzehrten Erdbeeren wurde ein bestimmter Teil jeden Tag zurückgetan und dann zur Analyse benützt, die Ausführung der letzteren geschah von mir in derselben Weise wie bei den Gemüsen. Nach der Behandlung der Früchte mit lauwarmem Wasser, mit heißem Wasser, mit Alkohol und Äther und Chloralhydrat hinterbleibt ein Gemenge von Kernen und unlöslicher Substanz. Von letzterer ist aber zweifellos nicht alles nur Zellsubstanz, sondern es findet sich eine allerdings nicht reichliche Menge einer mit Alkohol gelatinierenden voluminösen Masse, die sich aus den Früchten direkt durch verdünntes Ammoniak ausziehen läßt, beim Trocknen aber nur wenige krümliche Reste hinterläßt, die nach dem Trocknen in Wasser wieder quellen.

Versuch:

Zusammensetzung der Erdbeeren.

	100 g Trocken	in 232·95 Trockensubstanz pro Tag:
Asche	4·94	11·50
Organisch	95·06	221·40
Pentosen	8·73 = 7·71 Pentosan	20·33 = 17·94 Pentosan
N	1·29 = 8·06 Protein (inkl. Kerne)	2·98
Zellulose	7·16	16·67
Zellmembran	24·06 mit 3·84 g Pentosan	56·03 mit 8·94 g P.
Ätherextrakt	1·33	3·10
Verbrennungswärme	379·54	883·4

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	29·76	Prozent
Pentosan	15·94	,,
Restsubstanz	54·26	,,

100 Teile Erdbeerenkerne enthalten:

Asche	3·7	Prozent
Organisches	96·3	,,
N	2·67	,,
Pentosan	14·60	,,

Im ganzen wurden verzehrt 9700 g Erdbeeren = 2425 g frische Substanz = **232·95** g Trockensubstanz pro Tag. Außerdem kam noch hinzu 920 g Rohrzucker = 230 g für den Tag und 30 g Milch pro Tag, welche für den Kaffee (2 kleine Tassen) verwendet worden waren. Pro Tag trafen auf Zucker 908 Kal., auf Milch (2·5 g Fett) rund 16·8 kg-cal., zusammen also rund 925 Kal. auf die neben den Erdbeeren verzehrten Obstmengen. In den 232·9 g Trockensubstanz der Erdbeeren waren 883·4 Bruttokal. enthalten.

Die Versuchsperson kam also nicht ganz auf dieselbe Höhe der Nahrungszufuhr mit den Erdbeeren wie mit der Obst- und Gemüsemischung in der früheren Reihe, wo 933 Kal. auf diese Nahrungsmittel entfielen, d. h. etwa die Hälfte dessen, was zur Erhaltung des nicht gut genährten Körpers notwendig gewesen wäre. Da zweifellos die Begrenzung der Nahrung von den Beziehungen zu dem Sättigungsempfinden und den Magenempfindungen abhängig erscheint, so würde bei gut genährtem Körper und großem Nahrungsbedarf die Nahrungszufuhr relativ zum Bedarf noch ungünstiger werden.

Summiert man alle Einnahmen, so ergibt sich, daß die Versuchsperson 883·4 Kal. in Erdbeeren,
908·0 „ „ Zucker
16·8 „ „ Milch
1808·2 Kal. im ganzen aufgenommen hat.

Damit war der Nahrungsbedarf nicht gedeckt, wie die Abnahme des Körpergewichtes zeigte, obschon man wahrscheinlich nebenbei mit einem Wasseransatz am Körper wird rechnen müssen.

Die Verbrennungswärme von 100 g Erdbeeren macht trocken 379·54 Kal. aus, in der Erdbeere sind 87·7 Prozent des N, Protein-N und 12·31 g in Kernen und Amid-N. Wenn man die Verluste für den N-haltigen Anteil der Erdbeeren von der Bruttowärme abzieht, so entfallen für den Protein-N $1 \cdot 13 \times 7 \cdot 83$ Kal. $= 8 \cdot 84$ auf Abfallprodukte und $0 \cdot 16 \times 33 \cdot 1$ auf Kerne und Amidprodukte $= 2 \cdot 18$, somit wird der Betrag der

Reinkalorien 379·54
— 11·02
368·5 Kal. auf 100 Teile organisch = 387·5 Kal.

Es ist aber sicher, daß damit der wahre Wert noch um ein Geringes zu hoch gegriffen ist.

Die freien Säuren habe ich in den Erdbeeren nicht festgestellt. Nach König (Bd. II, S. 956) trifft für 100 Trockensubstanz 8·46 g freie Säure, demnach wären pro Tag 19·7 g Säuren zur Aufnahme gekommen, eine sehr erhebliche Menge, welche auch mit Rücksicht auf den energetischen Wert der Erdbeere recht bemerkenswert ist. Es ist kaum anzunehmen, daß diese für die Zellen als Kraftquelle voll in Betracht kommen, möglicherweise werden sie in die Karbonate umgewandelt, ohne sich an dem Zellkraftwechsel weiter zu beteiligen. Nimmt man für 1 g Äpfelsäure 2·35 Kal. an Verbrennungswert, so treffen für 100 Teile Erdbeeren 46·3 Kal. auf die Säuren, die wahrscheinlich ohne Bedeutung sein dürften, d. h. rund 12·2 Prozent von der Gesamtverbrennungswärme, dabei ist nur die als frei bezeichnete Säure berechnet, während stets noch ein Teil gebunden in den Früchten vorhanden

ist. Die Erdbeeren gehören zu den Früchten mittleren Säuregehaltes, wie Pfirsiche, Aprikosen, Brombeere, Heidelbeere, Himbeere, — während von Apfelsinen und Zitronen abgesehen — Stachel-, Maul- und Johannisbeere die sauersten Früchte sind. Beim halbreifen Obst kommen die Säuren in noch weit größeren Konzentrationen vor.

Die Abgrenzung war nicht absolut scharf, die Versuchsperson bildete bei Milchfütterung ausnahmsweise keinen festen Kot, jene beiden Grenzpartien zu Anfang und zum Schluß des Versuchs, bei denen kleine Beimengungen des Milchkots nicht auszuschließen waren, wurden gewogen, getrocknet wie der übrige Kot, aber bei der Analyse nicht verwendet. Im ganzen wurden 239·06 Trockenkot entleert, der frische Kot war 1309 g = 436 g frisch pro Tag = 59·75 g Trockensubstanz, der Kot war also dünn (13·72 Prozent Trockensubstanz).

Das Körpergewicht zu Beginn = 61 kg (55·5 Kilo nackt), sank bis zum 4. Tage auf 60·25 = 54·7 Kilo nackt, Verlust 0·8 Kilo für 4 Tage.

Die Zusammensetzung der Ausscheidungen war folgende:

Kotanalyse.

	In 100 g Trockensubstanz sind	In 59·75 g pro Tag
Asche	9·19	5·49
Organisch	90·81	54·26
Pentosen	7·98 = 7·05 Pentosan	4·77 = 4·21 g P.
N	4·57	2·73
Zellulose	12·91	7·71
Zellmembran . . .	36·92 mit 6·29 g Pentosan	22·06 mit 3·76 g P.
Fett	10·99	6·57
Verbrennungswärme	502·7	290·4

In 100 Teilen Zellmembran sind:

Zellulose	34·96	Prozent
Pentosan	17·04	„
Rest	48·00	„

Einen erheblichen Teil derselben machen offenbar die Kerne aus, welche wenigstens nach äußerer Betrachtung vorherrschen. Der kernhaltige Teil des Kotes ist N-arm, die Mischung muß also sehr sorgfältig vorgenommen werden. Pro Tag wurden 2·73 g N entleert.

N-Ausscheidung im Harn war folgende:

Menge des Harns:

1. Tag 2600	mit 7·23 g N	+ 2·73 im Kot	= 9·96	Gesamt-N
2. „ 1925	4·96	+ 2·73	7·69	„
3. „ 1700	4·25	+ 2·73	6.98	„
4. „ 1550	3·49	+ 2·73	6·22	„

In der Zufuhr war 2·98 g N also die Abgabe	1. Tag	6·98
	2. „	4·71
	3. „	4·00
	4. „	3·24
		18·93

Es wurde also nicht weniger als 18·93 g N vom Körper verloren, was rund 556 g Muskelfleisch ausgemacht hätte, unberechnet des N-Verlustes durch die Haut mit etwa 2 bis 3 g N = für 4 Tage 556 g
was nochmals 88 g Verlust entspräche 88 g
also 644 g

Verlust im ganzen. Der Gewichtsverlust war nur 0·200 pro Tag, was für die Aufspeicherung von Wasser am Körper spricht.

Da der Rohrzucker jedenfalls restlos aufgenommen wird und die wenigen Kubikzentimeter genossene Milch nicht in Frage kommen, darf der entleerte Kot auf die verzehrten Erdbeeren bezogen werden.

Der Verlust, wie er sich bei Einnahmen und Ausgaben für die Pentosen und Zellmembran ergibt, wäre folgender:

Von 100 Teilen wurden verloren:

bei Gesamtpentosen	24·52	Prozent
bei der Zellmembran	39·47	„
bei den Pentosen der Zellmembran	42·06	„
bei der Zellulose	46·24	„

Am wenigsten gut wurde die Zellulose resorbiert, sie ist aber doch weitgehend verdaut worden. Die Pentosen der Zellmembran wurden annähernd wie die Zellmembranen resorbiert. Das Resultat wird sich in folgendem erklären lassen. In den Erdbeeren ist ein Teil der Pentosen überhaupt nicht in der Zellmembran fixiert, daher die günstige Resorption der Gesamtpentosen. Bei den Zellmembranen haben wir zu unterscheiden, das wahre zarte Zellgerüst und die Kerne. Die letzteren machen offenbar einen wesentlichen Teil der ganzen Masse der Zellmembran der Erdbeeren und der Kotzellmembran aus. Gelöst wurden wahrscheinlich nur die wirklichen zellbegrenzenden Membranen, während die Kerne nicht angegriffen wurden, ähnlich wie etwa die gepulverten Haselnußschalen bei dem Hunde der Resorption sehr weitgehend widerstehen. Die Zusammensetzung der Zellmembran des Kotes zeigt ein relatives Anwachsen der Zellulose, wie ich das fast immer beobachtet habe.

Die Kerne sind N-haltig und dadurch steigt auch der N-Verlust im Kot erheblich. In der Zellmembran (+ Kernen) stecken im Kot 1·45 g N

pro Tag. Von den 2·98 g Zufuhr in den Erdbeeren sind also mindestens 50·3 Prozent unverdaulicher Natur, weil in den Kernen enthalten. Zieht man diesen Wert von der Gesamt-N-Ausfuhr ab 2·73

— 1·45

so bleiben 1·28 g N

als Stoffwechselprodukte übrig. Das ist etwa so viel, als ich sonst bei reichlicher N-freier vegetabilischer Kost beim Menschen als N-Rest im Kot gefunden habe (1·33 g N). Der Verlust an N war also mindestens 48·7 Prozent, allein auf Unverdauliches gerechnet. Trotz der kleinen Menge der Zufuhr überhaupt erreicht die Ausscheidung diese enorme Größe. Zieht man aber den unverdaulichen N der Kerne von den Einnahmen ab, so sinkt die N-Aufnahme pro Tag auf 1·53 g, demgegenüber eine Ausscheidung von 1·28 g N im Kot als Stoffwechselprodukte treten. Sieht man also vom Unverdaulichen ganz ab, so kommt dem Körper an N nur 0·25 g N pro Tag zugute. Für die N-Bilanz entfällt also die Eiweißzufuhr dieser Obstsorte vollkommen, denn sie reicht ja nur hin, die Stoffwechselverluste zu ersetzen, während der Harn-N als Reinverlust vom Körper betrachtet werden muß.

Schon in den früheren Abhandlungen war ich in der Lage, die Ausscheidungen von Stoffwechselprodukten für sich in Betracht zu ziehen, diese nahmen einen sehr bemerkenswerten, ja in den bisher untersuchten Fällen sogar den weitaus größeren Anteil an dem Gesamtverlust im Kote ein. Es wird daher von großer Wichtigkeit sein, auch hier dieser Frage näher zu treten. Dabei sind zwei Momente zu entscheiden: a) Das Verhältnis zwischen Unverdaulichem und Stoffwechselprodukten, man muß annehmen, daß dies wechselnd sein kann, da es ja auch Nahrungsmittel gibt, die restlos resorbiert werden. In anderer Richtung sollte man meinen, müßten aber die Relationen zwischen Unverdaulichem und Stoffwechselanteil im Kot weithin schwankend sein. Wider Erwarten haben sich dafür bis jetzt keine Beispiele in dem von mir bisher untersuchten Material gefunden, sondern es mag Zufall sein, ein sehr nahe übereinstimmendes Resultat der Relation. b) Wichtig ist, wieviel Stoffwechselprodukte im Verhältnis zum Nahrungsmittel selbst gebildet werden. In dieser Hinsicht zeigten sich nach den bisher abgeschlossenen Untersuchungen an Brot und Gemüsen recht verschiedene Werte.

Wie sich die Verhältnisse im vorliegenden Falle bei den Erdbeeren gestalten, ergibt sich aus nachstehender Betrachtung.

Die Menge des trocknen Kotes (organisch) war ziemlich reichlich = 54·3 g pro Tag, zieht man davon die 22·1 g Zellhüllen ab, so bleiben 32·3 g organ. Kot pro Tag.

Im Kot wurden verloren pro Tag		290·4 Kal.
davon gehen ab 22·1 Zellhüllen 4·536 Kal.[1]	= 100·00	
0·45 g Pentosan × 3·9	= 1·75 Kal.	101·7 „
somit bleibt für Stoffwechselprodukte:		188·7 Kal.

In den verzehrten Erdbeeren waren 883·4 Kal., somit treffen auf 100 Kal. in Erdbeeren 21·32 Kal. als Verlust an Stoffwechselprodukten.

Von dem Kot waren 35·12 Prozent der Kalorien Unverdautes,
64·88 „ Stoffwechselprodukte,

was mit einer Reihe anderer Bestimmungen in früheren Untersuchungen sehr gut übereinstimmt.

Die Gesamtzufuhr 883·4 Kal. verhält sich zum Gesamtverlust 290·4 Kal. wie 100 zu 32·87. Der Verlust ist — Unverdautes und Stoffwechselprodukte zusammengenommen — also sehr groß.

Berechnet man den Verbrennungswert der organischen Stoffwechselprodukte, so trifft auf 1 g 5·924 Kal., d. h. etwas weniger als ich z. B. für die Stoffwechselprodukte beim Hund bei Fleischfütterung (6·284 Kal.) gefunden habe.[2]

Die starke Bildung von Stoffwechselprodukten ist möglicherweise auf den Reiz der reichlichen Säuren, welche in den Erdbeeren enthalten sind, zurückzuführen. Der Wert der Erdbeere wird also durch die Mehrerzeugung von Stoffwechselprodukten sehr vermindert.

Die Erdbeeren können als Beispiel für ähnliche Früchte, wie Himbereen, Brombeeren, Maulbeeren gelten. Wahrscheinlich auch für das Fruchtfleisch der Stachelbeeren und Trauben, wenn man die Häute nicht mit verzehrt. Die Kotbildung wird aber jedenfalls bei den Stachelbeeren, Trauben, Johannisbeeren durch die äußere Haut noch weiter vermehrt, der Speiseverlust bei Ausscheidung der letzteren ist andererseits sehr groß, da ja Schale und Kerne reichlich noch Eßbares einschließen. Der wahre Nährwert der Erdbeere ist also ein sehr bescheidener, der Hauptwert liegt für sie und ähnliche Früchte in der Bedeutung als Genußmittel, zumal die täglich genossenen Mengen recht unbedeutend zu sein pflegen.

B. Die Verdaulichkeit der Äpfel.

Wenn man eine weitere Umschau nach Früchten hält, die in der Volksernährung Bedeutung haben, so kann man wohl die Äpfel als solche bezeichnen, denn sie machten vor dem Kriege gerade ein Drittel des Gesamt-

[1] Nach der Verbrennungswärme der Zellmembran der Zufuhr berechnet.
[2] S. *Gesetze des Energieverbrauchs.* S. 34.

nährwertes aller Früchte aus. Als nährende Bestandteile stehen bei ihnen die Zuckerarten im Vordergrund, daneben wieder, wie bei den anderen Früchten als Genußmittel wirkend, die organischen Säuren. Die Äpfel enthalten namentlich im unreifen Zustand auch Stärke, diese nimmt aber am Baume noch mit dem Reifen allmählich ab, wofür mehr Zucker gefunden wird. Frische Äpfel sind aber meist auch recht sauer und reif weniger sauer. Bei dem Nachreifen der gepflückten Früchte findet nach den Untersuchungen von E. Mach und K. Portele nur eine Abnahme von Säure und Rohfaser statt.[1] Glukose wird zum Teil in die süßere Fruktose umgewandelt. Die Stärke soll sich schon nach 2 bis 3wöchiger Aufbewahrung nicht mehr nachweisen lassen. Für ihre Zusammensetzung habe ich bereits nähere Angaben gemacht[2]; zwischen einer guten und einer minderen Äpfelsorte war ein ziemlicher Unterschied an Zellmembran, die erstere hatte wesentlich weniger als die letztere. Ihr Reichtum an solcher ist weit größer, als der der Getreidesorten. Über den Verdaulichkeitsgrad ist nichts bekannt. Ich hatte Gelegenheit, eine Versuchsreihe mit ausschließlicher Äpfelnahrung an zwei Soldaten auszuführen. Zur Verfügung standen mir ausgezeichnete Reinetten, sehr süß und weich, die mir für diese Versuche von Dr. Roese zugegangen waren. Die Äpfel wurden roh gegessen und weiter ist an Nahrung nichts aufgenommen worden. Die Versuchspersonen bewältigten ganz gut 4 bis 5 Pfd. Äpfel im Tag, auch lassen sich diese ohne Abgegessensein genießen. Der Ausfall jeder warmen Kost ist natürlich ein unbequemes Opfer.

Tabelle I.

Äpfel. Oehm.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Harn		Kot		
				ccm	G N pro Tag	Zeit	frisch	trocken
5. I. 1917	1.	71 1/2	2500 g Äpfel (ohne Schale u. Herz)	2500	5·0	—	—	—
6. I.	2.		3000 „	1500	5·2	5h 00′ n.	571	70
7. I.	3.		2500 „	1800	4·9	2 00 n.	329	40
8. I.	4.	68 1/2	2500 „	940	5·3	—	—	—
9. I.	5.		2500 „	1220	5·6	—	—	—
10. I.	6.	67	—	—	—	12 00 n.	117	37
			12500 g frisch = 1941 g Trockensubstanz = 388·2 g pro Tag	—	—	8 00 n.	111	30

[1] s. König, Bd. II, S. 952.

[2] *Dies Archiv.* 1915. Physiol. Abtlg. S. 241.

Tabelle II.

Äpfel. Schönherr.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Harn ccm	Harn R N pro Tag	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
5.I. 1917	1.	69	2500 g Äpfel (ohne Schale u. Herz)	2500	5·6	—	—	—
6.I.	2.		2500 „	2300	5·1	5h 30′ a.	410	55
7.I.	3.		2500 „	1900	6·0	2 50 n. 11 45 a.	410 30	35 10
8.I.	4.	65	2500 „	1660	5·2	—	—	—
9.I.	5.		2000 „	1600	5·0	5 00 a.	284	44
10.I.	6.	64	—	—	—	10 00 a.	160	35
			12000 g frisch =1864 g Trockensubstanz = 372·8 g pro Tag					

Die Experimente gelangen ohne jede Schwierigkeit.

Nachstehend sind in der Tabelle die Analysen der Nahrung und des Kotes zusammengestellt.

Tabelle III.

100 g Äpfel enthalten:		Aufnahme pro Tag Oehm 388·2 g	Aufnahme pro Tag Schönherr 372·8 g
Asche	1·10	4·27	4·1
Organisch	18·90	383·90	368·7
Pentosan	4·82	18·71	18·0
N	0·46	1·78	1·71
Zellmembran	7·91	30·69	29·49
Zellulose der Zellmenbran	4·30	16·69	16·03
Pentosan der Zellmenbran	0·61	2·37	2·27
Restsubstanz, der Zellmenbran	3·20	12·42	11·92
Fett	2·65	10·28	9·88
Kalorien	408·8	1596·9	1524·0

In 100 Teilen Zellmembran ist:

Zellulose	54·36
Pentosan	7·68
Rest	37·96

In 100 Teilen Kot ist:

	Oehm[1]	Schönherr[2]	Verlust pro Tag Oehm[3] 34·4 g	Verlust pro Tag Schönherr[4] 34·1 g
Asche	8·28	11·55	2·85	3·94
Organisch	91·72	88·45	30·55	30·16
Pentosan	4·33	3·50	1·49	1·19
N	6·51	6·92	2·24	2·36
Zellmembran	19·44	19·53	6·58	6·66
Zellulose	13·21	6·28	4·54	2·14
Pentosan	2·16	2·48	0·74	0·84
Restsubstanz	3·77	10·77	1·29	3·68
Fett	9·01	11·40	3·10	3·89
Kalorien	535·6	530·2	184·2	180·8

In 100 Teilen Zellmembran sind:

	Oehm	Schönherr
Zellulose	69·01	32·16
Pentosan	11·28	12·73
Rest	19·71	55·11

Die reine Obstkost ist also außerordentlich aschearm, die N-Zufuhr so gering, daß eine Erhaltung damit unmöglich ist. Das Versuchsmaterial zeichnete sich durch einen für Äpfel äußerst geringen Gehalt an Zellmembran aus, unter den von mit untersuchten war diese Sorte die ärmste an Membranen und daher sehr pentosearm. Der Trockengehalt der frischen Äpfel war 15·54 Prozent, ziemlich gering ist der Gehalt an Kalorien. Da die Äpfel voll gereift sein mußten, so kann der geringe Zellmembrangehalt auch zu einem Teil auf diesen Vorgang bezogen werden. Stärke war nur in sehr kleinen Mengen vorhanden, doch fand sich im Kot etwas Stärke. Da rohe Stärke leicht unverdaut bleibt, kann ein geringer Stärkegehalt des Kotes nicht wundernehmen. Die Menge der verzehrten Kalorien ist nicht gering; wenn auch die Versuchspersonen sich damit nicht auf ihrem Kalorienbedarf hätten halten können, so ist doch an die Hälfte oder mehr wie die Hälfte des Bedarfs zu decken gewesen, während man bei anderen Nahrungsmitteln, z. B. Kohlrüben, an eine so weitgehende Deckung des Nahrungsbedürfnisses gar nicht denken kann.

---

[1] Kot enthält 4·3 Prozent Stärke.

[2] „ 4·7 „ „

[3] Kot mit 1·47 g Stärke.

[4] „ 1·60 g „

Die Ausscheidungen sind eine braune Masse; besonders auffallend war, daß beim Abdampfen des Alkoholauszugs der fäkale Geruch rasch verschwand und dafür sich der feine aromatische Geruch der Reinetten verbreitete. Die Riechstoffe gehen also zu einem erheblichen Teil in die Ausscheidungen über.

Im Verhältnis zu der geringen Ascheeinfuhr ist die Ascheausscheidung im Kot sehr groß, besonders bei Person Sch., wo im Kot allein fast ebensoviel entleert wurde, als die Gesamtaufnahme betrug. Die Menge des Kotes war bei beiden Versuchspersonen fast gleich groß. Zu dünner Stuhl (Oe. = 15·22 Prozent Trockensubstanz, Sch. 13·2 Prozent Trockensubstanz) war nicht aufgetreten, wennschon die Entleerungen mehr breiig sind als bei Brot z. B. Die Zellmembran macht rund 19 Prozent des Kotes aus. Auffallend war der ungleiche Gehalt an Zellulose. Aus diesem Anlaß wurden die Analysen wiederholt mit demselben Ergebnis, bei Oehm ist der Zellulosegehalt viel größer. Der Ätherextrakt des Kotes ist erheblich. Betrachtet man die Ergebnisse kurzer Hand, so war der Verlust

	bei Oehm	bei Schönherr	im Mittel
an Trockensubstanz	8·89	9·14	9·01
,, Organischem	7·96	8·18	8·07
,, Kalorien	11·60	11·81	11·70

Das Ergebnis ist also nicht ungünstig. Nur bezüglich der N-Ausnützung läßt sich keine Angabe machen, da im Stuhl überhaupt mehr N ausgeführt wurde wie in der Nahrung enthalten war. Hier liegt offenbar die Bildung reichlicher Mengen von Stoffwechselprodukten vor. Außerdem kann man annehmen, daß ein Teil des spärlichen Proteins in der Zufuhr doch auch noch zu Verlust ging, denn es stellt sich immer mehr heraus, daß der Eiweißinhalt der Zellmembran an der Zellwandung haftet und nicht so leicht vollkommen abgelöst wird, als man meinen möchte. Die Zellmembranen im Kot schlossen in der Tat noch Protein ein. Dieser Rest ist als unresorbiertes Nahrungseinweiß (evtl. mit Anteilen von Bakterien N) zu betrachten. Nachstehende Zusammenstellung gibt darüber Aufschluß.

Tabelle IV.

Person	Auf 100 Teile Kot Protein	Kot pro Tag	Protein pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	N in Stoffwechselprodukten	N in Znfuhr	Prozent Verlust von Protein	Prozent N in Stoffwechselprodukten
Oehm	21·67	34·4	7·5	1·19	2·24	1·05	1·78	66·9	46·9
Schönherr	21·25	34·1	7·2	1·16	2·36	1·20	1·71	67·8	50·8
Mittel	—	—	—	1·17	2·30	1·17	—	67·3	48·8

Der Verlust an Protein ist demnach 67·3 Prozent, wobei noch zu berücksichtigen war, daß nicht aller N der Äpfel im Protein vorhanden ist, nahezu die Hälfte des entleerten N ist Stoffwechselprodukt. Für die Erhaltung des N-Bedürfnisses sind also Obstarten, wie die Äpfel, Birnen usw. völlig belanglos, denn im Mittel wurde nur 0·62 g N (wovon noch ein Teil Amid-N g) pro Tag trotz der großen Nahrungsmenge resorbiert. Außer als Genußmittel kommen die einheimischen Früchte also nur etwa als Kohlehydratträger in Betracht — wenn man von Nüssen u. dgl. absieht.

Betrachtet man im Zusammenhange hiermit gleich die Ausscheidung der Gesamtmenge von Stoffwechselprodukten,

Tabelle V.

Person	Verlust an Kalorien		Verlust im Tag an		Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien pro Tag	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte in Prozent	Von 100 Kalorien im Kot treffen auf Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
Oehm	6·02	33·87	2·92	42·81	184·2	141·4	1587	8·91	76·7
Schönherr	6·56	34·29	1·36	42·21	180·8	138·6	1524	9·09	76·6
Mittel	6·29	34·08	2·14	42·51	182·5	140·0	1555	9·0	76·7

so sind diese zwar nicht sehr gering, aber doch weit geringer, als bei den Erdbeeren. Sie bewegen sich mit 9 Prozent Verlust an Kalorien etwa um die Werte von manchen Vollkornbroten. Die Zellmembran selbst kann als Ursache des Reizes zur Bildung von Stoffwechselprodukten nicht angesehen werden, denn sie ist ja gut verdaulich; die Stoffwechselprodukte sind relativ reichlich im Kot vertreten, da sie rund 77 Prozent der Ausscheidungen ausmachen. Bei einem Gesamtverlust von 11·7 Prozent der eingeführten Kalorien sind 9 Prozent Stoffwechselprodukte, also nur 2·7 Prozent Verluste auf Unverdauliches zu beziehen.

Die Zellmembranen sind eine außerordentlich feinflockige Substanz, bei den Birnen kommen die Steinzellen vor, hier bei den Äpfeln fällt die Weichheit der Masse auf. Die Verdaulichkeit ist eine sehr günstige (siehe Tabelle VI).

Die Gesamtpentosane sind gut resorbierbar, sie liegen ja großenteils im Saft der Äpfel frei vor, wie überhaupt, was ich schon an anderer Stelle auch für Gemüse usw. erwähnt habe, der Preßsaft von Eiweiß befreit, die Pentosereaktion (Phlorogluzin-Salzsäure) kräftig gibt. Um welche Verbindungen es sich dabei handelt, dies zu untersuchen, lag bisher keine Möglich-

Tabelle VI.

Verlust an Pentose und Zellmembran.

	Oehm	Schönherr	Mittel
an Gesamtpentosan	7·95	6·61	7·28
„ Zellmembran	21·43	22·58	22·0
„ Zellulose	21·18	13·35	22·26
„ Pentosan d. Zellmembran	31·22	37·00	34·11
„ Restsubstanz	10·38	30·88	20·63
„ freien Pentosanen	4·58	2·23	3·40

keit vor. Die Zellmembran gehört zu den leicht resorbierbaren, nur rund $^1/_5$ wird verloren. Doch ist die Auflösung der einzelnen Bestandteile verschieden, besonders mit Rücksicht auf die Zellulose. — Oe. resorbierte weniger Zellulose als Sch. Bei Sch. blieben also mehr „Restsubstanz", d. h. Lignine usw. zurück. Dieser Unterschied machte sich auch bei der Reinigung der Rohzellulose geltend; die Auskochungen mit NH_3 hatten bei beiden Personen ganz verschiedene Tiefe der Färbung. Die Pentosane der Zellmembran sind nicht sehr gut aufgelöst worden. Entsprechend der leichten Löslichkeit der Zellmembran überhaupt konnte man vermuten, daß sie wohl schon in den oberen Partien des Dickdarmes erfolgt, da sonst mehr Pentosane unresorbiert liegen geblieben wären, was sich an der anscheinend schlechten Resorbierbarkeit der freien Pentosane ausgeprägt hätte, wofür schon genügend Beispiele gegeben sind.

Tabelle VII.

Oehm.

Tag	N der Einfuhr	N im Harn	N im Kot	Summe d. Einfuhr	Bilanz
1.	1·78	5·0	2·24	7·24	— 5·46
2.	1·78	5·2	2·24	7·44	— 5·66
3.	1·78	4·9	2·24	7·14	— 5·36
4.	1·78	5·3	2·24	7·54	— 6·76
5.	1·78	5·6	2·24	7·84	— 6·06

Schönherr.

Tag	N der Einfuhr	N im Harn	N im Kot	Summe d. Einfuhr	Bilanz
1.	1·71	5·6	2·36	7·96	— 6·25
2.	1·71	5·1	2·36	7·46	— 5·75
3	1·71	6·0	2·36	8·36	— 6·65
4.	1·71	5·2	2·36	7·56	— 5·85
5.	1·71	5·0	2·36	7·36	— 5·65

Die N-Zufuhr war so minimal, daß von einer Möglichkeit, den N-Bestand zu erhalten, nicht die Rede sein kann. Die N-Verluste der Versuchspersonen, die durch die vorherige Kost schon sehr tief im Umsatz heruntergekommen waren, waren erheblich, bei Oe. 28·24 g N, bei Sch. 30·05 g in 5 Tagen, auffallend groß war der Gewichtsverlust $4^1/_2$ Kilo bei Oehm und 5 Kilo bei Sch. Bei einer Nahrungsaufnahme von 1587 bzw. 1524 Kal. täglich kann man unmöglich, den Fettverlust und Eiweißverlust zusammengenommen, diesen enormen Gewichtssturz erklären, vielmehr muß dabei ein erheblicher Wasserverlust eingetreten sein, der sich schon in den vorhergehenden Versuchen mit ungenügender Kalorienzufuhr allmählich vorbereitet hatte, insofern dabei eine Wasserretention anzunehmen war. Die Gründe, welche diese Wasserausscheidung herbeigeführt haben, sind vorläufig nicht festzustellen, wenn auch einen Zusammenhang mit der Obstnahrung das gleiche Verhalten beider Personen wahrscheinlich macht.

Die beiden Beispiele Erdbeeren und Äpfel geben uns ein Bild über die Bedeutung, welche man den einheimischen Obstsorten im allgemeinen als Nahrungsmittel zuzuweisen hat.

Einige ernährungschemische Bemerkungen.

Von

Prof. Dr. **Th. Bokorny.**

Die Kluft zwischen Tier- und Pflanzenreich ist mannigfach überbrückt worden; auch in ernährungsphysiologischer Hinsicht ist dies der Fall.

Man braucht dabei nicht einmal an die Pilze zu denken, welche der Kohlensäureassimilation ebenso unfähig sind wie die Tiere (eine Ausnahme bilden nur einige Bakterien). Auch das Studium grüner Pflanzen hat manche Anknüpfung an die Hand gegeben; die Ernährung ist zum Teil die gleiche.

Die organische Kohlenstoff- und Stickstoffernährung ist nicht bloß bei Tieren und Pilzen, sondern auch bei grünen Pflanzen nachgewiesen.

Einige Bemerkungen über diesen Punkt und die einschlägigen neueren Untersuchungen mögen hier Platz finden. Denn die Resultate der letzteren sind in mehrfacher Beziehung bemerkenswert.

Es gibt eine organische Ernährung grüner Pflanzen in so großem Umfange, daß man dieselbe fortan nicht mehr ignorieren darf.

Groß ist die Zahl der organischen Stoffe, die als ernährungsfähig bei grünen Pflanzen erkannt wurden, fast so groß wie bei Pilzen (siehe die unten gegebene Zusammenstellung); sie läßt sich zweifellos noch erhöhen.

Ebenso kann die Reihe der organisch ernährbaren grünen Pflanzen noch erweitert werden; ja es gibt wahrscheinlich keine grüne Pflanze, die nicht mit organischen Kohlenstoff- und Stickstoffquellen ernährt werden kann. Es fehlt nur an Forschern, die sich mit solchen Untersuchungen befassen.

Man kann bezüglich der organischen Pflanzenernährung freilich wie in so vielen anderen Fällen sagen: „Das war ja vorauszusehen“.

Denn die organische Ernährung durch lösliche und wanderungsfähige C- und N-Verbindungen kommt in den grünen Pflanzen von Zelle zu Zelle normalerweise in größtem Umfange vor.

Wenn eine Wurzel hervorbricht und wächst, muß ihr von den Reservestoffbehältern und von den Blättern eine ausreichende Menge von Asparagin, Tyrosin, Leuzin, Zucker, organischer Säure usw. zufließen, damit die Eiweiß- und Zellulosemoleküle für den Aufbau der neuen Zellen entstehen können.

Daß diese innere organische Ernährung auch in eine äußere verwandelt werden könne, wenn man die organischen Nährstoffe von außen, durch die Wurzeln oder durch Schnittflächen, zuführt, das ist von botanischen Forschern bewiesen worden. Böhm hat das mit Zucker gezeigt, ebenso A. F. W. Schimper, Arthur Meyer, ferner Klebs, O. Loew, Cremer, Verfasser u. a. mit Zucker und zahlreichen anderen Stoffen.

Da die einschlägigen Untersuchungen ziemlich zerstreut in der Literatur sich finden, so dürfte eine kurze Zusammenstellung des Wichtigsten an dieser Stelle von Interesse sein.

Zum Vergleich werden neben den grünen Pflanzen häufig auch die Pilze erwähnt werden, welche als Meister in der organischen Ernährung schon seit längerer Zeit bekannt sind.

Bei organischen Stoffen, welche auch Stickstoff enthalten, ist zu unterscheiden, ob sie als C- oder als N-Quelle dienen, oder als beides zugleich.

Einige Amidokörper seien nun zunächst angeführt, weil bei ihnen die C- und die N-Ernährung zugleich in Betracht kommt.

Ein solcher ist der Harnstoff, ein Ausscheidungsprodukt des tierischen Körpers, welches neuerdings viel als Nahrung für Pflanzen genannt wurde, namentlich für Hefe, welche allerdings den Harnstoff als sehr gute Stickstoffquelle verwenden kann (nicht als C-Quelle). Das Tier hat offenbar für diesen Stoff gar keine Verwendung.

Zunächst seien ein paar Versuche mit Harn und Hefe unter Zuckerzusatz angeführt; der Stickstoff war hier nur großenteils als Harnstoff zugeführt, nicht ganz.

Versuch 1.

Brauereipreßhefe (mit 30proz. Trockensubstanz) . .	0·1 g
Rohrzucker (als 10proz. Lösung allmählich aus einer Bürette zutropfen gelassen: am 1. Tage 5 ccm, am 2. 10 ccm, am 3. 15 ccm, am 4. 20 ccm . .	5·8 g
Harn (aufs 5fache verdünnt)	350·0 ccm

Nach 5 Tagen ergab die mikroskopische Untersuchung, daß die Hefe gesund war, auch zeigte die Flüssigkeit keinen Fäulnisgeruch; Sprossungen zeigten sich unter dem Mikroskop an der Hefe, auch war sie wenig mit Bakterien durchsetzt.

Die Trockensubstanzbestimmung ergab 0,58 g, also eine Trockensubstanzvermehrung auf das 19fache.

Die Fettbestimmung ergab 0·01 g, also 1·76 Proz. Fett in der Trockensubstanz.

Der Erfolg der Harnernährung in bezug auf Trockensubstanzvermehrung war also überraschend groß. Hingegen ergab sich wenig Fett.

Versuch 2.

Er wurde ganz so eingerichtet wie Versuch 1, nur daß der Zuckerlösung in der Bürette 0·7 g Phosphorsäure (d. i. 0·2 Proz.) zugemischt war.

Auch hier ergab die mikroskopische Untersuchung nach 5 Tagen, daß die Hefe sproßte, lebend und fast bakterienfrei war. Es war keine Fäulnis eingetreten. Die Trockensubstanzbestimmung ergab 0·50 g, also eine Trockensubstanzvermehrung auf das 16,6fache.

Versuch 3.

Brauereipreßhefe (mit 30 Proz. Trockensubstanz) . .	1·0 g
Harn (unverdünnt)	70·0 ccm
Rohrzucker (alle Tage 1 g zugesetzt als Pulver, bis schließlich 5 g zugesetzt waren)	5·0 g

Nach 5 Tagen war die Hefe lebend, mit Sprossungen versehen, ziemlich frei von Bakterien. Kein Fäulnisgeruch war wahrzunehmen. Die Trockensubstanzbestimmung ergab 0·66 g, also eine Vermehrung auf das Doppelte.

Die Vermehrung war also beträchtlich, aber doch weit unter jener in den Versuchen 1 und 2, wo nur 0·1 g Hefe angewendet war und der Harn auf das 5fache verdünnt wurde.

Vermutlich wirkt der unverdünnte Harn durch seine Konzentration (2 Proz. Harnstoff...) etwas verzögernd auf das Wachstum.

Sonst aber schien mir die Harnernährung bei Hefe ein überraschend schnelles Wachstum hervorzurufen.

Der Harn scheint für die Hefevermehrung sehr günstig zu sein, aufs 5fache verdünnter noch mehr als unverdünnter.

Während man sonst oft bemerken muß, daß der Zucker vergoren wird, ohne daß eine erhebliche Vermehrung der Hefe stattfindet, geht sie hier sehr flott vonstatten. Durch die Anwesenheit von Harnstoff als

Stickstoffquelle wird der Zucker mehr in den Eiweißbildungsprozeß hineingezogen als sonst.

Bietet man der Hefe Harnstoff als einzige C-Nahrung, so wächst sie nicht. Harnstoff ist also keine C-Quelle für Hefe.

Als C-Quelle kann der Harnstoff bei anderen Organismen, z. B. bei manchen Algen, in Betracht kommen.

Man wird wohl kaum fehlgehen, wenn man annimmt, daß das Harnstoffmolekül hierbei zunächst seine Amidogruppen zur Stickstoffernährung abgibt und dann die übrigbleibende C-haltige Atomgruppe zur Stärkebildung sich gebrauchen läßt.

Schon 1887[1] wurde der Harnstoff von O. Loew und Verfasser auf die Ernährungskraft als Kohlenstoffquelle bei Algen geprüft.

Es zeigte sich, daß in 0,2proz. Lösung Spirogyren nicht gediehen.

Die Fäden waren nach 5tägiger Einwirkung der Harnstofflösung meist dem Tode nahe; die Chlorophyllbänder waren stärkeleer, ohne Zacken und zusammengeschrumpft, öfters zerrissen.

Das farblose Plasma war meist intakt, manchmal kontrahiert, nur hie und da granuliert.

Die Algen in 0,2proz. Lösung von Sulfoharnstoff waren ebenfalls meist dem Tode nahe, zeigten aber in vielen Zellen noch Stärkegehalt.

Auch in 0,1proz. Harnstoff kränkelten die Algen schon nach einigen Tagen.

Ich nahm daher die Lösung noch etwas verdünnter.

Harnstoff wurde zu 0·05 Proz. in kaltem Wasser gelöst und die Lösung mit einigen Tropfen einer vorrätigen 10proz. Monokaliumphosphatlösung versetzt.

In dieser Lösung blieben die Spirogyren mehrere Tage lebend; am dritten Tage zeigte sich in allen Zellen erhebliche Stärkebildung, aber nicht soviel wie in einem gleichzeitig aufgestellten Versuch mit Tyrosin.

Spaltpilze waren in der Lösung nicht aufgetreten.

Der Versuchsraum war kohlensäurefrei (durch starke Kalilauge).

Also hatte der Harnstoff die Stärkebildung hervorgerufen.

Da der Harnstoff eine der Hauptverunreinigungen der Flüsse, in welche Siele eingeleitet wurde, darstellt, ist die Sache vom Standpunkte der Selbstreinigung der Flüsse von Interesse.

Aber auch für Landwirtschaft und Gartenbau ist das wichtig, weil der Harnstoff ein beträchtlicher Bestandteil des Naturdüngers ist und im angebauten Boden sich vorfindet.

---

[1] *Journal für praktische Chemie.* 1887.

Von Bakterien kann der Harnstoff nur schwierig als Kohlenstoffnahrung verwendet werden.[1]

Für Bacterium termo ist nach Cohn[2] der Harnstoff als Nahrung nur dann tauglich, wenn noch eine andere Kohlenstoffquelle geboten wird.

Auch Bacillus subtilis gedeiht nur bei gleichzeitiger Zufuhr von Zucker und Harnstoff.[3]

Dabei ist nun freilich fraglich, ob der Harnstoff nicht als Stickstoffquelle dient.

Versuche, welche E. Laurent[4] mit Harnstoff als Kohlenstoffquelle für Hefe anstellte, führten zu einem negativen Resultat.

Es ist das ein Ergebnis, das bis zum heutigen Tage von keiner Seite umgestoßen werden konnte.

Die Hefe ist nun allerdings bezüglich ihrer Kohlenstoffernährung recht wählerisch.

Doch haben auch Versuche mit manchen anderen Pilzen ein ähnliches ablehnendes Resultat ergeben.

Anders liegt die Sache, wenn man den Harnstoff als Stickstoffquelle betrachtet.

Luftzutritt:
- Naegeli[5] erhielt mit Harnstoff 1 Proz., 2 Proz., 4 Proz. keine Pilzvegetation (bei Luftzutritt und Aschenzusatz).
- Harnstoff 1 Proz. + Citronensäure 2 Proz. (+ Hefenasche) lieferte reichlich Schimmelbildung.
- Harnstoff 1 Proz. + reinster Rohrzucker 9 Proz. + Phosphorsäure 0·2 Proz. (+ Asche) ergab Sproßhefe und Gärung.
- Harnstoff 1 Proz. + Glyzerin 9 Proz. + Phosphorsäure 0·2 Proz. (+ Asche) ergab reichliche Schimmelbildung.

Aus den Versuchen geht hervor, daß der Harnstoff sowohl für Hefe wie auch für Schimmel als Stickstoffnahrung dienen kann.

Vermutlich ist das auch bei Bakterien der Fall. Die obigen Lösungen waren zu sauer für Bakterienwachstum.

Faktisch finde ich unter Naegelis Versuchen auch solche, welche Bakterienvegetation ergaben.

S. 432: Harnstoff 0·5 Proz. + Äthylalkohol 2·3 Proz. + mineralische Nährsalze (Luftzutritt). — Ein Glas im Brutkasten zeigte mäßige Spaltpilzbildung mit saurer Reaktion, nachher eine dicke Schimmeldecke.

---

[1] *Chemikerzeitung* 1896. Nr. 9.

[2] *Beitrag zur Biologie der Pflanzen.* 1870. Bd. I.

[3] A. Fischer, *Jahrb. f. wiss. Bot.* 1804. Bd. XXVII.

[4] *Ann. soc. belg. de micr.* 1890. T. XVI.

[5] A. a. O. S. 429.

S. 44: Harnstoff 1 Proz. + Zucker 9 Proz. + Phosphorsäure 0·2 Proz., neutralisierte Erbsenasche, ohne Luftzutritt. Reichliche Sproßpilze und Spaltpilze.

Der Harnstoff dient also auch Bakterien als Stickstoffquelle.

Alles in allem kann man sagen, daß der Harnstoff den Pilzen nur schwierig als Kohlenstoffnahrung, leicht als Stickstoffnahrung dient.

Ein Versuch mit Algen ergab mir, daß der Harnstoff wahrscheinlich auch für diese eine Stickstoffnahrung sei.

In einer Nährlösung, welche 0,02 Proz. Harnstoff, außerdem etwas Monokaliumphosphat, Kalziumsulfat, Chlorkalzium und Magnesiumsulfat enthielt, blieben Spirogyren 4 Wochen lang durchaus gesund und zeigten kräftiges Wachstum, reichen Stärkevorrat.

Da ein anderer stickstoffhaltiger Stoff als Harnstoff nicht anwesend war, scheint die NH_2-Gruppe des Harnstoffs verwendet worden zu sein.[1]

Glykokoll, $CH_2 . NH_2 . CO_2H$.

In 0,1proz. mit Kalkwasser neutralisierter Lösung von Glykokoll, der etwas Monokaliumphosphat zugesetzt war, bildeten Spirogyren bei Lichtzutritt und Kohlensäureausschluß binnen 3 Tagen Stärke in allen Fäden.[2] Glykokoll ist also C-Nahrung für Spirogyren.

Was die Pilze anlangt, so ist, soweit meine Untersuchungen reichen, das Glykokoll eine Kohlenstoffnahrung für Schimmelpilze.[3]

Als Stickstoffnahrung habe ich das Glykokoll bei Spirogyra nitida versucht.[4]

In einer Nährlösung, welche keine weitere Stickstoffquelle als Glykokoll 0·1 Proz. enthielt, blieb Spirogyra nitida 3 Wochen lang kräftig und wuchs sichtlich, während dieselbe Spirogyrenart mit 0·1 Proz. schwefelsaurem Ammon keine Massenzunahme zeigte.

Bei einem zweiten Versuch ergab sich ein ähnliches Resultat.

Ein weiteres Experiment ergab, daß in der glykokollhaltigen, sonst stickstofffreien Nährlösung binnen 18 Tagen eine beträchtliche Zunahme an aktivem Albumin erfolgte. Mit Koffeinlösung zeigte sich starke Proteosomenausscheidung in Plasma und Zellsaft.

Ein vierter Versuch bei Ausschluß des elementaren Stickstoffes, zu welchem das Lösungswasser ausgekocht und dann von Luft abgeschlossen wurde, hatte ein ganz ähnliches Ergebnis.

---

[1] *Chemikerzeitung.* 1894. Nr. 2.

[2] A. a. O.

[3] *Chemikerzeitung.* 1896. Nr. 9.

[4] *Chemikerzeitung.* 1896. Nr. 7.

Daß Glykokoll auch für Hefe eine Stickstoffnahrung sei, wurde durch folgenden Versuch konstatiert:

Wasser	400 g	
Glykokoll	1 g	(0·25 Proz.)
Rohrzucker	20 g	(5 „)
Monokaliphosphat	0·8 g	(0·2 „)
Bittersalz	0·4 g	(0·1 „)
Hefe von 33·5proz. Trockensubstanz	1 g	

Nach 2tägigem Stehen bei 25° war die Hefe bereits abgesetzt, während vorher starke Trübung der Flüssigkeit durch die suspendierte Hefe stattgefunden hatte.

Die Trockensubstanz der Hefe betrug nun 0,40 g.

Die Zunahme der Trockensubstanz betrug 19,4 Proz.[1] Wenn nicht N-Nahrung, geht die Trockensubstanz zurück; siehe Albumoseversuch.

Weitere Hefeversuche wurden vom Verfasser noch mit folgenden N-Quellen angestellt. Fürs erste mit der Aminotetrazotsäure

$$NH_2 \cdot C \begin{cases} N \cdot N \\ NH \cdot \ddot{N} \end{cases} .$$

Sie hat, wie ersichtlich, ringförmige Bindung der N-Atome.

Es schien mir von Interesse zu sein, wie sich dieser Stickstoffkörper ernährungsphysiologisch verhält; ob er vielleicht als Stickstoffnahrung von Pflanzen gebraucht werden kann.

Da er bei 18° im Verhältnis 1 : 85,25 in Wasser löslich ist, so kann man leicht physiologisch wirksame Lösungen mit ihm erhalten.

Zuerst machte ich einige Vorversuche an Algen, und zwar mit 1 Proz. und mit 0,1proz. Aminotetrazotsäure.

Erstere Lösung war offenbar zu stark; sie schädigte die Algen.

Die letztere schien Algen nicht zu schädigen, wohl aber noch kleine Tiere (Infusorien) in der Bewegung zu hindern.

Zu meinen Ernährungsversuchen an Hefe nahm ich nun 0·1 Proz.

Es ergab sich aus den Versuchen, daß die Hefe, wenn sie Aminotetrazotsäure als einzige Stickstoffnahrung erhält, niemals ihre Trockensubstanz vermehrt, obwohl sie gesund bleibt. Dabei sind aber die Versuche so eingerichtet worden, daß eine Ernährung, wenn überhaupt möglich, leicht eintreten konnte. Es war Gärung da infolge der Anwesenheit eines gärfähigen Zuckers. Die Gärung lieferte Energie für die Assimilationsleistung und brachte zugleich die Hefenzellen in immerwährende Berührung mit frischer Lösung. Das negative

---

[1] *Allg. Brau- u. Hopfen-Zeitung.*

Resultat ist also auf die Unfähigkeit der Hefe, Aminotetrazotsäure als Stickstoffnahrung zu verwenden, zurückzuführen. Ein auffallendes Resultat, nachdem der Stickstoff in der Aminotetrazotsäure zum Teil als NH_2-Gruppe enthalten ist!

Andere organische Stickstoffquellen wurden vom Verfasser vor kurzem bei Hefe geprüft und mit schwefelsaurem Ammoniak verglichen, nämlich Glykokoll, Tyrosin, Leuzin, Asparaginsäure, Asparagin, Pepton. Es sind alles Aminokörper.

$$
\begin{array}{ccccc}
 & \begin{array}{c} \mathrm{OH} \\ | \\ \mathrm{C} \\ \mathrm{HC} \diagup\!\!\diagup \quad \diagdown \mathrm{CH} \\ | \qquad \| \\ \mathrm{HC} \qquad \mathrm{CH} \\ \diagdown\!\!\diagdown \mathrm{C} \diagup \\ | \\ \mathrm{CH_2} \\ | \\ \mathrm{CHNH_2} \\ | \\ \mathrm{CO_2H} \end{array} & \begin{array}{c} \mathrm{CH_3} \diagdown \diagup \mathrm{CH_3} \\ \mathrm{C} \\ | \\ \mathrm{CH_2} \\ | \\ \mathrm{H_2NCH} \\ | \\ \mathrm{C} \\ | \\ \mathrm{O} \\ | \\ \mathrm{OH} \end{array} & & \\
\begin{array}{c} \mathrm{CH_2NH_2} \\ | \\ \mathrm{COOH} \end{array} & & & \begin{array}{c} \mathrm{COOH} \\ | \\ \mathrm{CH_2} \\ | \\ \mathrm{CHNH_2} \\ | \\ \mathrm{COOH} \end{array} & \begin{array}{c} \mathrm{CONH_2} \\ | \\ \mathrm{CH_2} \\ | \\ \mathrm{CHNH_2} \\ | \\ \mathrm{COOH} \end{array} \\
\text{Glykokoll} & \text{Tyrosin} & \text{Leuzin} & \text{Asparaginsäure} & \text{Asparagin}
\end{array}
$$

Mit all diesen Stoffen wurden Ernährungsversuche an derselben Hefe und unter gleichen Umständen aufgestellt; die Amide waren, jedes für sich, die einzige gebotene Stickstoffquelle.[1] Es zeigte sich, daß Pepton weitaus am besten war; dann folgten der Reihe nach Asparagin, Asparaginsäure, Leuzin, Tyrosin, Glykokoll. Fleischalbumose hatte gar keinen Erfolg, weil sie nicht eindrang (siehe nachher).

Aus dem Versuch mit Fleischalbumose (Somatose, käuflich) ersieht man deutlich, wie wichtig die osmotischen Fähigkeiten der Nährstoffe sind.

Die Albumosen würden sicherlich vortreffliche Nährstoffe für die Hefezelle wie auch für andere Zellen sein, wenn sie nur in das Innere der Zellen gelangen könnten.

Die Somatose ist im wesentlichen ein Propepton oder eine Albumose; ihre Molekulargröße scheint noch so bedeutend zu sein, daß sie durch die Plasmahaut nicht eindringt.

Es gewährt einen merkwürdigen Anblick, die Hefe in Somatoselösungen hungern zu sehen.

---

[1] *Chemikerzeitung.* 1916.

Asparagin ist eine Kohlenstoffquelle für grüne Pflanzen, was schon aus der so häufigen Verwendung desselben bei den Neubildungen im Pflanzenkörper hervorgeht, wobei jedenfalls neben dem C-Gehalt auch der Amidstickstoff desselben zur Ernährung dient.

Außerdem hat Bässler[1] gezeigt, daß Maispflanzen besser gedeihen, wenn der Stickstoff als Asparagin statt als Kalisalpeter dargeboten wird. Der Mehransatz von Stickstoff betrug 15·7 Proz., unter der Voraussetzung, daß der Stickstoffgehalt der Pflanzen bei Beginn des Versuches gleich war.

Daß Asparaginsäure eine Kohlenstoffquelle für Algen sei, wurde zuerst von O. Loew[2] erkannt.

Meine eigenen Versuche bestätigten dies.[3]

Spirogyren ergeben in 0·1proz., mit Kalkwasser neutralisierter Lösung von Asparaginsäure binnen 2 Tagen erheblichen Stärkeansatz.

Mit Leuzin erhielt ich an Algen ebenfalls positives Resultat. Sie setzen in einer 0·2proz. Lösung von Leuzin bei Lichtzutritt und Kohlensäureausschluß Stärke an.

Daß Tyrosin der Alge Spirogyra als Kohlenstoffquelle dienen könne, zeigte mir ein Lichtversuch unter Kohlensäureausschluß. Schon nach 2 Tagen erfolgte Stärkeansatz.

Mit aromatischen Amidokörpern wurden an grünen Pflanzen keine Versuche angestellt. Bei Hefe und anderen Pilzen scheiterten sie meist an der Giftigkeit der Stoffe.

So führten Hefeversuche mit Anilin zu einem negativen Resultat (E. Laurent).

Ebenso endigten meine eigenen Versuche mit Hefe und o- sowie p-Toluidin mit keinem deutlichen positiven Ergebnis.

o-Toluidin ist weniger giftig als p-Toluidin.

Ich versuchte es mit ersterem.

Doch kann auch dieses von Hefe nur schwer als Stickstoff und gar nicht als C-Quelle verwendet werden.

Dagegen scheinen Schimmelpilze (Aspergillus) dasselbe gut als N-Quelle verwenden zu können, weniger, aber doch ein wenig, auch als C-Quelle.

p-Anisidin ist nach meinen Versuchen eine N-Quelle für Hefe, aber keine C-Quelle. Ein Schimmelpilz schien dasselbe in schwachem Maße als C-Quelle verwenden zu können.

o-Anisidin ist zu giftig.

---

[1] *Landwirtschaftl. Versuchsst.* Bd. XXXIII. S. 23.

[2] *Journal für praktische Chemie.* 1887.

[3] *Chemikerzeitung.* 1894. Nr. 2.

Ebenso schien mir Dimethyltoluidin zu giftig für Ernährungsversuche zu sein.

Versuche mit Hefe und Amidobenzoesäure ergaben mir ein negatives Resultat.

Nitranilin kann nicht als C-Quelle für Hefe dienen, aber anscheinend auch nicht für andere Pilze; denn es zeigte sich bei diesem Versuch keinerlei Pilzvegetation, wiewohl andere Pilze auch Zutritt hatten.

Hingegen ist dasselbe für Hefe wie auch für Schimmelpilze eine gut brauchbare Stickstoffquelle.

Bei einem 0·1 Proz. Nitranilin enthaltenden Versuch, dem keine andere Stickstoffquelle beigegeben war, stellte sich eine mächtige Pilzvegetation binnen 3 Wochen ein.

Über grüne Pflanzen liegen beim Nitranilin keine Versuche vor.

Aus Cyanverbindungen vermögen nach Naegeli und Loew Pilze den Kohlenstoff nicht zu assimilieren.

Blausäure ist zu giftig.

Aber auch das C und N aus Ferrocyankalium können nicht assimiliert werden.

Auch das schwach giftige Rhodankalium sowie das cyansaure Kalium dienen den Pilzen nicht als Kohlenstoffnahrung.

Dicyan ist sehr giftig.

Weder für Pilze noch für grüne Pflanzen ist es ein Nährstoff.

Die Fleischbase Kreatin kann nach O. Loew von Bakterien als Kohlenstoffquelle verwendet werden.

An Spirogyren erhält man mit Kreatin Stärkebildung.

Ebenso mit Hydantoin und Spirogyra.

Ferner mit Urethan und Spirogyra.

Auch mit Trimethylamin erhielt ich Stärkebildung an Spirogyra.

Folgende Formeln weisen die Molekülbeschaffenheit der genannten Stoffe auf:

$$C{\leqslant}^{NH_2}_{NH_2}\!\!=O \qquad C{\leqslant}^{NH_2}_{O.C_2H_5}\!\!=O \qquad \begin{matrix} NH-CO \\ | \quad\;\; | \\ CO \quad\;\; | \\ | \quad\;\; | \\ NH-CH_2 \end{matrix} \qquad \begin{matrix} NH_2 \\ | \\ C=(NH) \\ | \\ N(CH_3)-CH_2-COOH \end{matrix} \qquad N{\leqslant}\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}$$

Harnstoff Urethan Hydantoin Kreatin Trimethylamin

O. Loew bringt die physiologische Wirkung dieser Stoffe mit ihrer chemischen Natur in Verbindung:

„Treten in die Moleküle des Harnstoffes Säuregruppen ein, die den alkalischen Charakter abschwächen, so verschwindet auch die schädliche Wirkung, wie Versuche mit Hydantoin und Kreatin ergaben.

Setzt man Algenfäden in 0·1proz. Lösungen dieser Stoffe in Quellwasser, so nehmen sie bei Urethan auch nach Wochen nicht den geringsten Schaden; bei Harnstoff kränkeln sie nach einigen Tagen (bei Guanidin starben sie unter Granulationserscheinungen schon nach einigen Stunden ab)."[1]

Es ist das einer der ersten Versuche gewesen, die Ernährungstüchtigkeit der Stoffe aus der chemischen Konstitution abzuleiten.

Weitere Versuche dieser Art sind später gemacht worden, ja man ist so weit gekommen, Gesetze auszusprechen über diesen Zusammenhang.

Dieselben sind meist aus den Erfahrungen mit Pilzen abgeleitet worden.

Einige derselben sollen nachher erwähnt werden.

Überblicken wir die mit Amidokörpern erhaltenen Resultate, so fällt zunächst die große Zahl der verwendbaren Stoffe auf.

Viele können als C-Nahrung gebraucht werden, fast alle als Stickstoffnahrung; bei aromatischen Amidokörpern ist öfters die giftige Beschaffenheit ein Hindernis für jegliche Art von Verwendung.

Die Verwendung als C-Quelle ist bei aromatischen Amidokörpern schwierig, weil der Benzolkern für Ernährungszwecke ungünstig ist.

Aller Ernährung muß vermutlich eine chemische Zerlegung der ernährenden Moleküle vorausgehen. Sie ist beim Benzolkern schwerer als bei den Kohlenstoffketten der Fettreihe zu erreichen.

Die Amidogruppe wird immer verhältnismäßig leicht abgespalten und kann dann zum Eiweißaufbau gebraucht werden.

Darum sind manche Amidokörper ganz wohl als Stickstoffnahrung brauchbar, nicht oder schlecht als Kohlenstoffnahrung.

Was in letzterem Falle mit dem Kohlenstoffkomplex geschieht, welcher nach Wegnahme der Amidogruppen übrig bleibt, ist bei den einzelnen Stoffen erst noch festzustellen.

Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Nährkraft und chemischer Konstitution.

Die organische Nahrung der Pilze wie auch der grünen Pflanzen ist sehr mannigfaltig.

Eine Beziehung zur chemischen Konstitution herauszufinden, ist schon seit Naegeli ein lebhafter Wunsch der Chemiker und Physiologen gewesen.

Wieweit es gelungen ist, eine Gesetzmäßigkeit hierin zu finden, ist zum Teil schon anderswo hervorgehoben worden.

---

[1] *Journal für praktische Chemie.* Bd. XXXVI.

Hier sei nur noch weniges darüber gesagt.

Es gibt kaum ein interessanteres physiologisches Thema als dieses.

Denn hier ergibt sich die Hoffnung, mit den Mitteln, welche uns die moderne Naturwissenschaft, speziell die Chemie, an die Hand gibt, in das Innerste des Lebensgeheimnisses einzudringen.

Freilich ist es nicht möglich, alles zu erklären.

Einige Erkenntnis läßt sich aber erreichen. Der Fortschritt ist unverkennbar.

O. Loew läßt sich hierüber folgendermaßen vernehmen:[1]

„Was die nährenden Stoffe betrifft, so lassen sich mit Bezug auf die Förderung des Pilzwachstums folgende allgemeine Gesichtspunkte aufstellen:

1. Hydroxylierte Säuren sind besser als die entsprechenden nicht hydroxylierten, z. B. Milchsäure besser als Propionsäure.

2. Mehrwertige Alkohole sind besser als die entsprechenden einwertigen, z. B. Glyzerin besser als Propylalkohol.

3. Der Nährwert der Fettsäuren und der einwertigen Alkohole der Fettreihe nimmt mit steigender Anzahl der Kohlenstoffatome ab; z. B. Essigsäure ist besser als Buttersäure (Naegeli, Stutzer) und Methylalkohol besser als Amylalkohol (Brown).[2]

Der Eintritt von Aldehyd- oder Ketongruppen erhöht die Nährfähigkeit; z. B. Glucose oder Fructose sind besser als Mannit, Acetessigester ist besser als Essigester."

„Von hohem Interesse für die Bakteriologie müßte es sein, vergleichende Studien über die Nährfähigkeit verschiedener Substanzen noch weiter auszudehnen.

Loew und Verfasser haben bei Versuchen, Algen organisch zu ernähren, beobachtet, daß Hydantoin und Kreatin bei Spirogyren günstiger wirken als Leuzin oder Urethan, was wir auf eine gewisse Labilität der in jenen Verbindungen enthaltenen CH_2-Gruppe zurückführten.

Es dürfte sich im allgemeinen bestätigen, daß am Stickstoff methylierte Basen besser sind als die entsprechenden nichtmethylierten.[3]

Man sollte z. B. vergleichen Glykokoll mit Sarkosin, Glykocyamin mit Kreatin."

Stickstoffquellen für Pilze sind nicht nur Ammoniaksalze und Nitrate,

---

[1] O. Loew, Die chemischen Verhältnisse des Bakterienlebens. *Centralbl. f. Bakt.* 1891. Bd. IX.

[2] Brown, Versuche mit Bacterium aceti. *Chem. Soc. Journ.* März 1886.

[3] O. Loew, *Pflügers Archiv.* Bd. XL. S. 442.

sondern auch Amidosäuren, Säureamide, Amine, wahrscheinlich auch Nitrile und manche Nitroso- und Nitroverbindungen.

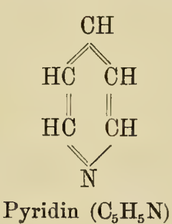
Azo- und Diazoverbindungen sind ebensowenig geprüft wie Hydrazo- und Azoxyverbindungen (Stickstoffwasserstoffsäure hoffte O. Loew bald prüfen zu können).

„Wir dürfen wohl schließen, daß aus allen den verschiedenen organischen Stickstoffquellen zuerst Ammoniak gebildet wird, ehe die Eiweißsynthese beginnen kann. Würden die verschiedenen Aminosäuren Amine usw. als solche verwendet so müßten schließlich verschiedene Eiweißkörper und damit ein verschieden funktionierendes Protoplasma entstehen.“[1]

Als indifferente organische Stoffe, die nicht ernähren, aber auch nicht giftig sind, führt O. Loew auf: z. B. Pyridin, Chloral, pikrinsaure und nitranilsaure Salze, Nitrobenzoesäure, oxalsaure Salze, wahrscheinlich auch Amidobenzoesäure.

O. Loew versuchte vergeblich, in einer phosphorsaures Pyridin enthaltenden Lösung Schimmel und Spaltpilze zur Entwicklung zu bringen, obgleich selbst 0·5 Proz. freies Pyridin in einer Peptonlösung diesen Pilzen keinen Schaden bringt.

Die Pilze können das Pyridin eben nicht zur Eiweißbildung benutzen, weil es ein chemisch auffallend beständiger Körper ist und auch von den Pilzen nicht gespalten oder partiell oxydiert werden kann zum Zwecke, eine brauchbare Atomgruppen für die Eiweißbildung herzustellen.



Pyridin (C_5H_5N)

Abhängigkeit der organischen Ernährung von bestimmten Umständen.

Daß bei der organischen Pilzernährung wie auch bei den grünen Pflanzen äußere Einflüsse eine Rolle spielen, läßt sich von vornherein erwarten; es fragt sich, welcher Art die Beeinflussung in den einzelnen Fällen ist.

Temperatur: Penicillium glaucum entwickelt sich nach Thiele auf Traubenzuckerlösung nicht mehr, wenn die Temperatur 31⁰ über-

[1] O. Loew, a. a. O.

steigt, auf Glyzerin nicht mehr über 30° C, auf ameisensaurem Salz nicht über 35° hinaus.

Die Kohlensäureassimilation grüner Pflanzen hört jedenfalls bei den genannten Temperaturen noch nicht auf, wenn sie auch ihr Optimum bereits überschritten hat.

So fand Kreusler bei seinen Versuchen mit einem beblätterten Zweig von Rubus fruticosus in einer 0·3 Proz. Kohlensäure enthaltenden Luft, daß die Assimilation von 2° bis 52° anstieg, dann zurückging, aber auch bei 60° nicht aufhörte.

Selbst bei 0° und noch tiefer hat man an grünen Pflanzen noch Kohlensäureassimilation wahrgenommen.

Bei Koniferen wurde von H. Jumelle noch Kohlensäureassimilation bei 30° bis 40° unter Null festgestellt.

Sind die Chloroplasten empfindlicher gegen Kälte, so zeigen die Pflanzen eine vorübergehende Unfähigkeit zu assimilieren, wenn das Leben erhalten bleibt.

Eine permanente Aufhebung des Assimilationsvermögens unter Erhaltung des Lebens der Zelle wurde bis jetzt nicht beobachtet.

Vielmehr trat bei abgekühlten aber nicht abgestorbenen Pflanzen das Assimilationsvermögen stets wiederum ein, nachdem sie einige Zeit in wärmere Temperatur zurückgebracht worden waren.

Die Einwirkung des Lichtes auf die Assimilation organischer Kohlenstoffnahrung durch Pilze ist wenig bekannt.

Im allgemeinen gilt das Licht als schädlich für Pilze, d. h. die Grenze der erträglichen Lichtstärke liegt hier viel tiefer als bei den meisten grünen Pflanzen.

Welche Funktionen aber geschädigt werden und in welchem Grade, ist nicht bekannt.

Bei grünen Pflanzen wirkt das Licht, wie oft erwähnt, auf die Assimilation der organischen Nährstoffe vorteilhaft.

Es ist das eine recht bemerkenswerte Tatsache.

Zunächst möchste der Gedanke aufkommen, daß die organischen Stoffe vielleicht durch Oxydation in Kohlensäure verwandelt und diese dann assimiliert wird.

Denn in der Kohlensäureassimilation sind die grünen Pflanzen Meister, und auf jene hat das Licht einen entscheidenden positiven Einfluß.

Doch trifft das zweifellos auf jene Fälle nicht völltig zu, in welchen eine Ernährung mit demselben Stoffe auch im Dunkeln beobachtet wird.

Ferner würde das in vielen Fällen doch einen beträchtlichen und unnützen Umweg bedeuten, den die Natur kaum einschlägt.

Wie wir uns die Verwandlung der organischen Stoffe auf dem Wege über CHOH denken können, darüber mögen die sonst angeführten Äußerungen O. Loews nachgesehen werden.

Da bei grünen Pflanzen allein das Licht günstig wirkt, nicht auch bei Pilzen, so darf wohl angenommen werden, daß die Verwandlung der aufgenommenen organischen Substanzen bei grünen Pflanzen vorwiegend innerhalb der Chlorophyllapparate vor sich geht.

Daß die Konzentration des organischen Nährstoffes wie auch anderer beigefügter Stoffe einen entscheidenden Einfluß hat, mag aus den angegebenen Versuchen entnommen werden.

Man kann in diesem Punkte nicht vorsichtig genug sein.

Viele negative Resultate hängen jedenfalls mit der zu hohen Konzentration zusammen.

Bei nicht giftigen Stoffen ist ja im allgemeinen eine höhere Konzentration günstiger.

Man kann dort ruhig 1 bis 2, ja 5 Proz. anwenden.

Nur darf die Lösung dann nicht wasserentziehend und plasmolytisch wirken, sonst werden anomale Zellverhältnisse geschaffen.

Je mehr Nährstoff zur Verfügung steht, desto ausgiebiger wird, wenn die Zellverhältnisse nicht gestört sind, die Assimilation ausfallen.

Säurezusatz ist bei Versuchen mit Schimmelpilzen förderlich, weil damit andere Pilze mehr oder weniger ausgeschlossen werden.

Naegeli setzte in der Regel bis 1 Proz. Phosphorsäure zu, wenn er Schimmel erhalten wollte. Bei Hefe wirkt schon 0·1 bis 0·2 Proz. ungünstig.

So mag es wohl auch sonst noch Stoffe geben, die für den einen Pilz schädlich sind, für den anderen nicht, und damit zum Ausschluß unerwünschter Pilzarten dienen können.

Versuche in dieser Richtung sind noch wenig gemacht worden.

Es mag hier nur noch erwähnt sein, daß Saccharomyces viel größere Mengen von Alkohol verträgt wie die meisten anderen Pilze.

Man kann also davon zur Reinerhaltung der Hefe Gebrauchmachen.

Sie erzeugt ihn selbst durch Gärung.

Ein allzu großes Maß wirkt aber schädlich und tut schließlich dem Wachstum Einhalt.

Sie wird also durch diesen ihr sonst so vorteilhaften Stoff am Ende doch ungünstig beeinflußt.

Ähnlich ist es mit der Kohlensäure bei grünen Pflanzen, die davon so guten Gebrauch zu machen wissen und diesen Stoff selbst durch Atmung erzeugen.

Nach Boussingault werden grüne Pflanzen durch ein Übermaß von Kohlensäure geschwächt.

Er nannte diesen Zustand „Asphyxie".

Ferner ist der Einfluß des Sauerstoffes auf die Assimilation von großer Wichtigkeit.

Bezüglich der Pilze brauche ich hier keine Worte zu verlieren, da er zu bekannt ist und oft studiert wurde. Er ist hier wie bei den allermeisten Organismen von ausschlaggebender Bedeutung, da er die Verbrennungsvorgänge im Innern der Zellen bewirkt und damit Energie erzeugen hilft. Selten kann diese Energie auf anderem Wege gewonnen werden.

Cremer und Verfasser haben durch Versuche an Spirogyren die Erfahrung machen müssen, daß nicht einmal die besten Nährstoffe wie Zucker leicht assimiliert werden, wenn keine Sauerstoffzufuhr da ist.

Erst bei langer Versuchsdauer bildet sich etwas Stärke.

Bei sauerstoffarmen Nährstoffen ist der Sauerstoff schon deswegen nötig, weil sonst eine Umwandlung derselben in Kohlehydrat und Eiweiß ausgeschlossen ist (siehe früher).

Die Nährsalze dürfen bei allen Versuchen über Assimilation organischer C-Quellen nicht vergessen werden, außer es handelt sich um die Feststellung geringer Anfänge von Neubildung, zu denen die vorhandenen Salze in der Zelle schon ausreichen.

Ich erhielt, wenn ich Hefe mit Rohrzucker allein ernährte, selbst bei Anwendung 20 proz. Rohrzuckerlösung keine Trockensubstanzvermehrung.[1]

Milchzucker und Glyzerin, jedes für sich ohne jeden sonstigen Zusatz angewendet, ergaben nur geringe Trockensubstanzvermehrung. Der nötige Stickstoff wurde vermutlich aus den Verunreinigungen des Zuckers usw. entnommen.

Gifte wirken hemmend oder verhindernd auf die Ernährung ein.

Doch soll es Verdünnungen geben, bei denen dieselben förderlich sind.

Nach Raulin kann durch eine kleine Zugabe von Zink oder Mangan das Erntegewicht der Pilze gesteigert werden.

Richards gibt sogar an, daß dasselbe durch alle wirklichen Gifte bei genügend kleiner Dosierung erreicht wird.

Die (Brauerei-)Preßhefe zeigte sich in einem meiner Versuche vorteilhaft beeinflußt durch 0·01 Proz. (freie) Phosphorsäurezusatz zur Nähr- und Gärlösung.

Die Trockensubstanzzunahme war größer als bei einem unter gleichen Bedingungen aufgestellten Kontrollversuch.

---

[1] *Brauer- u. Hopfen-Zeitung.* 14. August 1902.

Ähnlich wirkte 0·01 Proz. (freie) Schwefelsäure.

0·01 Proz. Kupfervitriolzusatz aber wirkte schädlich ein.

Möglicherweise fördern noch größere Verdünnungen.

Gerade bei Kupfervitriollösungen wurde an einigen Bakterien bei sehr großer Verdünnung ein günstiger Einfluß bemerkt.

Es bedarf nur der richtigen Methoden, um das festzustellen.

Über die angewandten Methoden.

Was zunächst die Versuche mit Algen betrifft, so ist es von Wichtigkeit, daß überall die gleiche Versuchsweise eingehalten wird, um vergleichbare Resultate zu bekommen.

Das am meisten von mir verwendete Objekt waren Spirogyren.

Dieselben werden meist stärkehaltig in der Natur vorgefunden.

Um sie zu entstärken, werden sie einige Tage mit 0·1proz. Kalziumnitrat ins Dunkle gestellt. Man kann auch durch Zusatz von 0·02 Proz. Magnesiumsulfat und 0·05 Proz. Monokaliumphosphat für rasches Wachstum und Zellteilung Sorge tragen; dann geht die Entstärkung um so rascher und sicherer vor sich.

Um nun auch die Kohlensäure beim Entscheidungsversuch auszuschließen, die natürlich zu Täuschungen oder Unklarheiten führen könnte, wenn, wie gewöhnlich, um rasch zu Ende zu kommen, Lichtversuche aufgestellt werden, bringt man die entstärkten Algen (von deren Entstärkung man sich mikroskopisch mit Jodlösung überzeugt hat) in kleine Gläschen mit gut schließendem Korkstöpsel, etwa 20 ccm fassend. Das zur Nährlösung angewendete Wasser wird gründlich ausgekocht und kochend heiß in die Versuchsgläschen (vor dem Einbringen der Algen) gegossen, etwa zu 10 ccm; die Gläschen werden sofort geschlossen und nach dem Abkühlen nur noch einmal rasch geöffnet, um die Algen in kleiner Menge einzusetzen, dann dem Lichte ausgesetzt.

Meist stellt sich schon nach 12 Stunden Lichteinwirkung Stärkeansatz in den Chlorophyllapparaten ein, wenn der zugesetzte organische Nährstoff eine Kohlenstoffquelle ist.

Kontrollversuche (ohne organische Substanz) müssen natürlich immer nebenher gehen, um volle Sicherheit zu haben.

Weil manche Kohlenstoffquellen nur schlecht und langsam verwertet werden, ist es ratsam, den Versuch auf mehrere Tage auszudehnen, wenn die erste Besichtigung noch kein positives Resultat ergibt.

Hinsichtlich des Stärkeansatzes sind von J. Böhm Beobachtungen publiziert worden, welche zeigen, daß auch ohne Assimilation und Zufuhr

organischer Substanz von außen Stärke angesetzt werden kann, nämlich durch Umwandlung des in der Zelle selbst vorhandenen Reservezuckers.[1]

Diese Umwandlung tritt ein, wenn durch Einwirkung starker Salzlösungen oder durch sonstige wasserentziehende Mittel die Zellflüssigkeit konzentriert wird, also zuckerreicher wird.

Ein Teil des vorher gelösten Zuckers schlägt sich dann als Stärke in den Chlorophyllapparaten nieder.

Doch treten solche Erscheinungen nur bei wenigen an Reservezucker reichen Pflanzenzellen ein, wozu Spirogyra nicht gehört.

Außerdem sind die von mir gewählten Konzentrationen, schon mit Rücksicht auf die sonst schädliche Wirkung des Stoffes, fast immer so gewählt worden, daß eine Wasserentziehung ausgeschlossen erscheint.

Der Stärkeansatz ist also bei richtiger Vorsicht als ein sicheres Zeichen für Ernährung der chlorophyllführenden Pflanzen von außen anzusehen.

Hingegen darf aus dem Ausbleiben des Stärkeansatzes nicht auf den Mangel einer Ernährung geschlossen werden, da ja der Stärkeansatz nur die Bildung eines Überschusses von Kohlehydrat bedeutet.

Tatsächlich kann man bei manchen Versuchen hinreichende Ernährung beobachten, ohne daß eine Spur von Stärkeansatz erfolgt. Es wird eben das entstandene Kohlehydrat durch Wachstum verbraucht.

Der Stärkeansatz findet bei Spirogyren zunächst immer in der Umgebung der Pyrenoide statt.

Später können aber — bei sehr reichlicher Ernährung — auch außerhalb derselben Stärkekörnchen auftreten, wie ich oft beobachtete.

Vermutlich wurden dieselben von ihrem ursprünglichen Entstehungsorte durch die neuen Stärkekörner abgedrängt.

Die Nährlösungen müssen so gewählt werden, daß sie nicht schädlich, aber auch nicht wirkungslos sind.

Entsteht bei der Zersetzung einer Nährsubstanz ein schädlicher Stoff (intermediär oder durch Nebenwirkungen), so muß für Unschädlichmachung derselben gesorgt werden (siehe oxymethylsulfonsaures Natron).

Die Lösung dient entweder zum völligen Einlegen von Pflanzen (Algen) oder zum Eintauchen der Wurzeln bei Wasserkulturen von Blütenpflanzen oder zum Begießen bei Topfpflanzen.

Auch in ersteren beiden Fällen ist manchmal wegen Pilzwachstums eine Erneuerung der Lösung am Platze.

Bei Blütenpflanzen ist auf die gerne sich einstellenden Schädlinge

---

[1] J. Böhm, Stärkebildung in Sedum spectabile Boreau, *Botan. Centralbl.* 1889. I. Quartal.

zu achten, die, wie der Kohlweißling beim Kohl, den ganzen Versuch zunichte machen können.

Die Versuche mit Algen nehmen meist nicht mehr als 8 bis 14 Tage in Anspruch.

Bei Blütenpflanzen freilich ist die Versuchszeit meist wesentlich länger zu nehmen.

Ich begoß beispielsweise Kohlpflanzen 3 Monate lang mit Lösungen von Methylalkohol, Methylal, Glyzerin usw., um recht große Ausschläge zu erhalten.[1]

Die Methodik bei Pilzversuchen gestaltet sich naturgemäß wiederum anders.

Nehmen wir als Beispiel die Hefe.

Soll festgestellt werden, ob dieselbe mit einer bestimmten organischen Nahrung als Kohlenstoffquelle auskommen kann, so infiziert man am besten die entsprechend hergerichtete Nährlösung mit einer Spur Hefe, so daß eine sichtbare Trübung nicht zustande kommt.

Die Versuche werden dann bei gewöhnlicher Zimmertemperatur oder im Brutofen oder bei niederer Temperatur angestellt und tage- bis wochenlang beobachtet.

Stellt sich binnen mehreren Tagen keine Trübung (aus Hefe bestehend) ein, so kann man wohl annehmen, daß der betreffende organische Stoff kein Nährstoff sei, vorausgesetzt, daß die richtige Konzentration des Nährstoffes und die richtigen Beigaben getroffen wurden.

Sollte das Versuchsergebnis negativ sein, so sind immer noch weitere Versuche mit angeänderter Verdünnung anzustellen, eventuell auch mit anderen Beigaben, wie Stickstoffquellen von anderer Art.

Es kommt nicht selten vor, daß eine Kohlenstoffquelle bei 0,1 Proz. noch zu stark konzentriert ist und bei weiterer Verdünnung doch noch positives Resultat ergibt.

Stellt sich eine Trübung sehr spät ein, so ist nachzuforschen, ob nicht eine Umwandlung des Nährstoffes, etwa durch Oxydation stattgefunden hat, und somit das Oxydationsprodukt der Nährstoff ist.

Bei quantitativen Versuchen setzt man von Anfang an eine bestimmte Menge Hefe, etwa 1 g, zu, um nach einer bestimmten Zeit die Zunahme an Trockensubstanz zu bestimmen.

Die Trockensubstanz der Anfangsmenge muß natürlich bekannt sein.

Eine andere Sache ist es mit Bakterien, die meist in größerer Menge nicht vorrätig sind.

---

[1] *Biochem. Zeitschrift.* 1915.

Hier sind, wenn es geht, Spuren von Reinkulturen zuzusetzen. Eine Bestimmung des Verhältnisses von Endquantität zur Ausgangsquantität ist dann nicht möglich.

Oft wird es auch nicht möglich sein, Reinkulturen bestimmter Bakterienarten zu verwenden.

Naegeli hat viele seiner Versuche in der Weise angestellt, daß er mit Spuren einer gefaulten Flüssigkeit infizierte oder auch die Probeflüssigkeiten offen an der Luft stehen ließ, wobei dann die Mikroben aus der Luft anfliegen mußten.

Auch Verfasser hat vielfach dieses Verfahren eingehalten.

Man hat dies beanstandet, aber nicht ganz mit Recht.

Denn in der Luft sind sehr mannigfaltige Bakterienkeime enthalten.

Man wird also über die Frage, ob überhaupt Bakterien in der Lösung wachsen, durch einen solchen Versuch einigen Aufschluß erhalten.

Genügend bekannt ist, daß bei Bakterienversuchen meist neutrale oder schwach alkalische Beschaffenheit der Nährlösung herrschen soll, während von Schimmelpilzen saure Medien bevorzugt werden.

Bei Bakterien- (oder auch Hefe-)Versuchen über die Nährfähigkeit von organischen Säuren sind also Salze derselben anzuwenden.

Die geringe Löslichkeit mancher organischen Stoffe in Wasser macht auch oft Schwierigkeiten.

Oft lösen sich solche Stoffe in Äthylalkohol genügend auf.

Ich stellte mir dann wässerige Lösungen durch Eingießen bestimmter kleiner Mengen der alkoholischen Lösung in Wasser her.

Kontrollversuche müssen dann entscheiden, ob nicht der Alkohol ein etwaiges positives Resultat bewirkt habe.

Die Nährstoffe (C-Quellen) wurden in den oben angeführten Versuchen fast immer als einzige in den Nährlösungen angewendet.

Das hat ja seine großen Vorteile.

Denn sonst können Unklarheiten entstehen.

Es soll aber nicht verkannt sein, daß vielleicht mancher Stoff noch als Nährstoff Verwendung finden würde, wenn er neben einem guten Nährstoff vorhanden wäre; er könnte sozusagen in den Stoffwechsel mit hineingerissen werden.

Umgekehrt kann ein schlechterer Nährstoff durch einen guten „geschützt" werden.

Nach Pfeffer[1] wird zwar die Essigsäure weder durch Dextrose noch durch Pepton geschützt; die Milchsäure aber kann ebenso wie das Glyzerin,

---

[1] *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. XXVIII. 1895.

wenn hinreichende Mengen von Dextrose und Pepton vorhanden sind, vor der Verarbeitung bald mehr, bald weniger, mitunter sogar ganz bewahrt werden.

Bei Darbietung von 4 Proz. Dextrose und 1·6 Proz. Glyzerin wird durch Aspergillus niger bei vorwiegendem Dextrosekonsum noch eine geringe Menge von Glyzerin verarbeitet.

Steigt jedoch die Menge der Dextrose auf 8 Proz. und verringert sich die des Glyzerins auf 0·92 Proz., so wird das Glyzerin vollkommen geschützt.

Umgekehrt kann das letztere, selbst wenn in gewaltigem Überschuß vorhanden, die Dextrose niemals vollkommen schützen.

Daß aber trotzdem ein Zusatz von Glyzerin den Verbrauch der Dextrose einschränkt, geht aus den Versuchen mit Penicillium hervor.

Was die Zusammenstellung Pepton—Glyzerin betrifft, so wird bei Aspergillus das Glyzerin besser durch Pepton als durch Dextrose geschützt.

4·5 Proz. Pepton schützen 1 Proz. Glyzerin vollkommen.

Bei Penicillium ist Pepton zwar weniger wirksam als bei Aspergillus; aber auch bei diesem schützt es besser als Dextrose.

Werden auf 1 Teil Essigsäure etwa 10 Teile Dextrose geboten, so erweisen sich nach Ablauf des Versuches 75 Proz. der Essigsäure, aber nur 50 Proz. der Dextrose als verbraucht.

Nichtsdestoweniger vermag aber die Essigsäure nicht dauernd die Dextrose zu schützen; denn die letztere wird endlich bis auf die letzten Spuren verbraucht.

Wenn zwei gute Nährstoffe nebeneinander anwesend sind, z. B. Dextrose und Pepton, so werden beide verbraucht.

Auch geringe Mengen von Dextrose werden neben viel Pepton glatt verbraucht.

Doch geht aus den Versuchen von Butkewitsch[1] hervor, daß die Anwesenheit von Dextrose die Peptonspaltung etwas einschränken kann.[2] Eine Gegenerklärung siehe daselbst.

Bei Ernährung mit Glykosiden findet nach Ririewitsch[3] ein verschieden starker Verbrauch der Spaltungsprodukte statt, wie ja von vornherein wahrscheinlich.

Von den Spaltungsprodukten wird zuerst die Dextrose, dann das Benzolderivat verzehrt, falls letzteres nicht in der Nährlösung verbleibt.

Salicin wird ferner durch die 6fache Menge Dextrose, die 12—13fache Menge von Saccharose, 14—16fache von Stärke geschützt.

---

[1] *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. XXXVIII. 1903.

[2] Lafar, *Techn. Mycologie.* Bd. I. S. 360.

[3] *Ber. d. Bot. Ges.* Bd. XVI. 1898.

Helicin wird nicht gespalten bei Anwesenheit der 7fachen Menge von Dextrose, 12—13fachen Menge von Saccharose.

Arbutin wird nicht gespalten, wenn 11—12mal soviel Saccharose anwesend ist.

Sind zwei verschiedene Glykoside gleichzeitig anwesend, so werden beide mit gleicher Energie gespalten.

Gegenseitiger Schutz scheint nicht zu bestehen.

Eine ausreichende Erklärung für diese merkwürdigen Dinge zu geben, ist nicht möglich.

Doch darf eine chemische Erklärung nicht als unmöglich bezeichnet werden, wenn auch die gegenwärtigen chemischen Kenntnisse nicht ausreichen dürften.

Am meisten möchte wohl die Lehre vom chemischen Gleichgewicht einschlägig sein, wobei die verschiedenen Mikroorganismen als mit verschiedener Angriffsfähigkeit gegen die Nährstoffe ausgerüstet gedacht werden müssen und die Stoffe zuerst zerstört werden oder auch zunächst allein verbraucht werden, welche diesen Angriffen am leichtesten unterliegen. Die Konzentrationen sind dabei natürlich ausschlaggebend.

Das Eindringen der Nährstoffe.

Manche organische Stoffe müßten nach ihrer chemischen Beschaffenheit eine vorzügliche Nahrung sein, sind es aber nicht, weil sie nicht eindringen.

So ist für Hefe Pepton eine ausgezeichnete Nahrung, Somatose keine, wie folgender Versuch lehrt:

I.

Wasser	400 g	
Somatose (Albumose aus Fleisch)	1 g	(0·25 Proz.)
Rohrzucker	20·0 g	(5 „)
Monokaliphosphat	0·8 g	(0·2 „)
Bittersalz	0·4 g	(0·1 „)
Preßhefe von 33·5 Proz. Trockensubstanz	1 g	

II.

Wasser	400 g	
Pepton (aus Fleisch)	10 g	(2·5 Proz.)
Rohrzucker	40 g	(10 „)
Monokaliphosphat	2 g	(0·5 „)
Bittersalz	0·4 g	(0·1 „)
Preßhefe von 33·5 Proz. Trockensubstanz	1 g	

Erstere Mischung enthält, wie ersichtlich, eine Albumose als einzige Stickstoffquelle, ferner Rohrzucker als einzige Kohlenstoffquelle.

Sie blieb 2 Tage lang bei 25° stehen und geriet dabei in lebhafte Gärung.

Nach 2 Tagen, als der Versuch beendigt wurde, war die Gärung noch im Gange.

Nach dem Filtrieren und Waschen wurde die Hefe, die sich nicht sichtlich vermehrt hatte, auf dem Filter gesammelt und bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die Trockensubstanz betrug nur 0·30 g.

Also hatte sich die Hefe nicht vermehrt, ihre Trockensubstanz war sogar etwas weniger geworden — um 10·5 Proz.

Wie ist dieser negative Erfolg zu erklären?

Nur aus der schweren Diosmierbarkeit der Albumose; sie vermag nicht in die Hefezelle einzudringen.

Denn daß sie, wenn sie in die Hefezelle gelangt ist, nicht ernährt, ist bei diesem sonst so ausgezeichneten Nährstoff, der chemisch zwischen genuinem Eiweiß und Pepton in der Mitte steht, nicht anzunehmen.

Wir haben hier ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, daß gute Nährstoffe unter Umständen nicht ernähren.

Die Aufnahme nicht diosmierbarer Stoffe, welche zum Beispiel für die Magen- und Darmschleimhaut leicht ist, gelingt bei der Hefe nicht; darum bleibt der denkbar beste Nährstoff unbenutzt liegen.

Pepton ist hingegen eine vorzügliche Nahrung für Hefe, weil es in dieselbe eindringt und bei ihrer Eiweißnatur dann leicht assimiliert wird.

Bei Versuch II hatte sich die Hefe nach 2tägigem Stehen der Mischung bei 25° im Brutöfen sichtlich vermehrt. Fäulnisgeruch war nicht vorhanden.

Die Trockensubstanzbestimmung der auf dem Filter gesammelten, wiederholt ausgewaschenen Hefe ergab nun 0·88 g Trockensubstanz.

Also hatte die Trockensubstanz bei Pepton als einziger Stickstoffnahrung um nahezu 163 Proz. zugenommen.

Ein Versuch ohne Zucker mit Pepton angestellt, also unter Ausschluß von Gärung und Benutzung des Peptons als einziger Stickstoff- und Kohlenstoffquelle zugleich, ergab ebenfalls starke Trockensubstanzzunahme.

Es wurden dann noch ähnliche Versuche unter Benutzung von Asparagin, Asparaginsäure, Leuzin, Tyrosin, Glykokoll als einziger Stickstoffquelle angestellt.

Alle diese Substanzen drangen ein und dienten als Nahrung.

Sie ergaben Vermehrung der Trockensubstanz, wenn auch in geringerem Maße als bei Pepton.

Bei Asparagin fand kein Zusatz einer besonderen Kohlenstoffquelle statt.

Bei den vier anderen Versuchen wurde noch Rohrzucker als C-Quelle zugesetzt.

Prozentisch ausgerechnet ergibt sich folgendes:

Es wurde gefunden bei:

	Trockensubstanzzunahme in Prozenten
Fleischalbumose	— 10·5
Fleischpepton mit Zucker	+163
„ ohne Zucker (bei Sauerstoffatmung)	+152
Asparagin	+ 96·8
Asparaginsäure (mit Dikaliphosphat)	+ 55·2
Leuzin	+ 82
Tyrosin	+ 54·4
Glykokoll	+ 19·4

Der mutmaßliche Grund für das negative Resultat bei Fleischalbumose wurde schon oben besprochen.

Warum gerade das Pepton eine so eminente Nahrung für Hefe ist, daß die Trockensubstanzzunahme bei Peptonnahrung alle sonstige Assimilationsleistung der Hefe weit überragt, das hat seine Ursache wahrscheinlich nicht in dem besseren Eindringen des Peptons, sondern in der Proteinnatur der Peptone.

Sie sind in ihrer chemischen Beschaffenheit den echten Eiweißstoffen ähnlich und können durch einfache Wasserabspaltung wieder in diese übergehen, wie sie durch Hydratisierung aus denselben entstehen.

Es wird also der Hefe ein leichtes sein, daraus (unter Aktivierung) ihr Protoplasma zu bilden.

Asparagin, Asparaginsäure, Leuzin, Tyrosin, Glykokoll stehen weit ab von den Eiweißstoffen.

Um die Eiweißbeschaffenheit zu erreichen, müssen große Veränderungen mit ihnen geschehen.

Darum der geringere Effekt bei Ernährungsversuchen mit ihnen.

Immerhin ist die Nährkraft des Asparagins und Leuzins noch eine recht respektable, die des Tyrosins wesentlich geringer.

Im übrigen fehlen Versuche über die Raschheit des Eindringens von Nährsubstanzen.

Man darf aber nach allem, was man sonst über das Eindringen von Stoffen beobachtet, wohl annehmen, daß dasselbe auch bei Nährstoffen recht schnell vor sich geht.

Läßt man z. B. 0·1proz. Koffeinlösung auf lebende Spirogyren einwirken, so bemerkt man schon binnen wenigen Minuten eine Veränderung im Protoplasma, die ohne Absterben desselben verläuft.

Es tritt eine Körnchenbildung in demselben ein, die fast rascher als man beobachten kann, die ganze Zelle ergreift.

Ähnlich ist es bei sehr verdünnten Ammoniaklösungen.

Darwin hat etwas Ähnliches beim Auflegen von Fleischstückchen auf die Drüsenhaare von Drosera beobachtet.

Hier sind es wohl die Fleischbasen, welche die Veränderung bewirken.

Denn man kann mit sehr großen Verdünnungen von Ammoniak, Koffein und anderen Basen dieselbe Erscheinung (Aggregation) hervorrufen.

Was die Verdünnung der Stoffe anbetrifft, so braucht man, falls derselbe überhaupt mit der lebenden Zelle in Reaktion tritt, nicht zu befürchten, daß eine noch so große Verdünnung den Stoff unwirksam macht.

Verfasser konnte bei seinen Arbeiten über Giftwirkung beobachten, wie selbst Verdünnungen von 1:1000000 oder 1:10000000 noch bei relativ kurzer Versuchszeit eine deutliche Wirkung hervorbrachten.

Die großen Verdünnungen, bei welchen chemische Stoffe noch auf lebende Zellen wirken, sind überhaupt schon vielfach Gegenstand der Bewunderung gewesen und dürften auch namentlich in medizinischer Hinsicht interessieren.

Direkt sichtbar ist die rasche Einwirkung, auch der größten Verdünnungen, bei Anilinfarbstoffen, die von dem lebenden Protoplasma gebunden werden.

Verfasser konnte beobachten, wie Infusorien, indem sie umherschwammen, aus den unglaublichsten Verdünnungen der Farbstoffe diese aufnahmen und allmählich tiefer gefärbt wurden.

Die Aufnahme der Stoffe aus verdünnten Lösungen hat fast keine Grenze.

Formaldehyd.

Mit diesem Stoff, der durch die Baeyersche Assimilationshypothese in den Mittelpunkt der chemisch-physiologischen Diskussion gerückt wurde, hat sich Verfasser schon oft befaßt.

Die Hauptresultate der Untersuchungen hierüber bis in die neueste Zeit mögen in folgender Übersicht zusammengefaßt und ersehen werden:

Namen der Substanz, chemische Formel	Nährkraft bei Pilzen	Nährkraft bei grünen Pflanzen	Bemerkungen
Aldehyde. Formaldehyd $C{\lt}^{H}_{H}{=}O$	Ernährungsversuche mit CH_2O als einziger C-Quelle mißlingen bei Pilzen. Nur wenn man Salmiak (oder sonst Ammoniaksalz) als N-Quelle verwendet, stellt sich — freilich erst nach längerer Zeit — Bakterienvegetation ein (infolge von Hexamethylenaminbildung nach O. Loew). Schimmel- oder Hefewachstum wurde nie beobachtet. Die Umwandlung des Formaldehyds in Kohlehydrat gelingt sogar bei rein chemischen Versuchen, indem derselbe bei Berührung mit gewissen Metallhydroxyden zu Traubenzucker und anderen Zuckerarten kondensiert wird (O. Loew). Andere Umwandlungen wiederum gelingen dem Chemiker nicht, die in der lebenden Zelle scheinbar leicht vor sich gehen.	Spirogyren setzen in 0·001 Proz. Formaldehyd bei langer Versuchsdauer im Dunkeln Stärke an, ebenso bei länger fortgesetzter Zufuhr von CH_2O-Dämpfen unter CO_2-Ausschluß und Lichtzutritt.[1] Mit Phaseolus multiflorus-Topfpflanzen, ebenso mit Vicia faba ergaben Begießungsversuche keinen entschiedenen Erfolg, weil eine zu große Verdünnung angewendet werden mußte infolge der Giftigkeit des Formaldehyds. Es wurde zunächst mit 0·001 Proz. gegossen. Da Phaseolus multiflorus aber noch 0·01 Proz. freies Formaldehyd zu ertragen schien, so wurden Wasserkulturen mit dieser Konzentration des Formaldehyds angesetzt. Anfangs stellte sich ein Vorsprung gegenüber der Kontrollpflanzen ein; der Enderfolg war aber nicht deutlich günstig.	Die Giftigkeit dieses Stoffes ist bei Ernährungsversuchen sehr hinderlich. Trotzdem gelingen sie in einzelnen Fällen bei genügender Vorsicht. Formaldehydversuche sind physiologisch von besonderem Interesse, weil CH_2O vermutlich ein Zwischenglied bei der Kohlehydrat- wie auch bei der Eiweißbildung in Pflanzen aus einfacheren organischen Stoffen darstellt.[2]
formaldehydschwefligsaures Natron $CH_2{\lt}^{OH}_{SO_3Na}$	Es scheint wenige Pilze zu geben, welche diesen Stoff als C-Quelle verwenden können. Meine Versuche schlugen stets fehl. O. Loew erhielt immer erst nach langer Zeit Spaltpilzvegetation und zwar immer von derselben Art, eine in großen Massen rötlich	Spirogyren ernähren sich davon und bilden Stärke. Das gelingt auch im Dunkeln. Bei Lichtzutritt geht aber die Ernährung mit diesem Stoff rascher vor sich. Man macht hier dieselbe Erfahrung wie mit vielen anderen zur Stärkebildung in Spirogyren	Spaltet sich nach folgender Gleichung: $CH_2{\lt}^{OH}_{SO_3Na} = CH_2O + HSO_3Na$ Das frei gewordene HSO_3Na

[1] B. in *Biochem. Zeitschrift.* Bd. XXXVI.

[2] A. Baeyer, *Theorie der Kohlensäureassimilation.* — O. Loew, *Theorie der Eiweißbildung.*

Namen der Substanz, chemische Formel	Nährkraft bei Pilzen	Nährkraft bei grünen Pflanzen	Bemerkungen
	erscheinende Art. — Denselben Spaltpilz erhielt er merkwürdigerweise auch bei Ernährung mit ameisensaurem Natron.[1]	verwendbaren organischen Stoffen, die im Lichte leichter zu Stärke werden als bei Lichtausschluß.	muß mit etwas Dialkaliphosphat bei Ernährungsversuchen unschädlich gemacht werden. Sonst mißlingen die Versuche regelmäßig, weil ein Absterben der Versuchspflanzen eintritt.
Methylal $CH_2<^{O \cdot CH_3}_{O \cdot CH_3}$	In 1 proz. Methylallösung wachsen Bakterien und Mikrokokken, aber nur langsam. Auch hier bemerken wir, daß die Substanz von Pilzen schwieriger bewältigt wird als von grünen Pflanzen.	0·1—0·2 Proz. ernährt Algen[2], 0·2 Proz. ernährt Weizen, Roggen, Kohl[3], Bohnen desgleichen[4]; 0·1 Proz. bewirkt Stärkeansatz in entstärkten Spirogyren, bei Kohlensäureausschluß und Lichtzutritt. Für Cladophora ist Methylal ziemlich giftig. Bei Erbsen ist 0·2 Proz. etwas zu stark (auch bei Topfpflanzen). Die Begießung der Topfpflanzen ist monatelang fortzusetzen, um größere Ausschläge zu erhalten.	Spaltung des Methylal nach der Gleichung: $H_2O + CH_2<^{O \cdot CH_3}_{O \cdot CH_3} = C{=}O<^{H}_{H} + 2\,CH_3 \cdot OH$
Äthylaldehyd $CH_3 \cdot COOH$	Giftig. Erst bei 0·01 Proz. oder 0·02 Proz. wachsen Bakterien bzw. Schimmelpilze.	Für Algen ein nicht unbeträchtliches Gift; selbst bei 0·02 Proz. sterben sie binnen 24 Stunden ab. Phaseolus multiflorus erträgt 0·1 Proz. und gedeiht darin.[5]	Der Nährfähigkeit steht hier (ähnlich wie bei Formaldehyd) hauptsächlich die Giftigkeit im Wege.
Paraldehyd $(C_2H_4O)_3$	Schon 0·002 Proz. tötet Pilze binnen 24 Stunden.[6]	0·2—0·002 Proz. ist für Algen giftig, so daß kein Stärkeansatz erfolgen kann.	Bei der Giftigkeit dieses Stoffes ist eine ernährende Wirkung nicht zu erwarten.

[1] O. Loew, *Centralbl. f. Bakt.* 1892. Nr. 16.
[2] O. Loew und B., *Journal f. prakt. Chemie.* Bd. XXXVI.
[3] B. *Biochem. Zeitschrift.* 1915.
[4] *Landw. Jahrb.* 1892.
[5] B. in *Chemikerzeitung.* 1894. Nr. 2.
[6] B. in Pflügers *Archiv.* Bd. LXVI.

Namen der Substanz, chemische Formel	Nährkraft bei Pilzen	Nährkraft bei grünen Pflanzen	Bemerkungen
Benz-aldehyd (Bittermandelöl) $C_6H_5 \cdot COH$	Ist nach Kitasato und Weyl ein starkes Gift für anaerobe Spaltpilze (wohl auch für andere, B.). Eine ernährende Wirkung ist nicht zu erwarten.	Ernährungsversuche liegen nicht vor.	
Oxybenz-aldehyd (Para-) $C_6H_4(OH) \cdot COH$	Ist etwas schädlich für niedere Organismen. Trotzdem wuchs in 0·1proz. Lösung ein mächtiger Schimmelrasen.[1]	Versuche fehlen.	
Oxybenz-aldehyd (Ortho-) $C_6H_4(OH) \cdot COH$	Sehr giftig. Keine Ernährungswirkung.	Versuche über Ernährung wurden nicht gemacht.	
Glyoxal $O=C-H$ / $O=C-H$ (C–C verbunden)	Für Pilze keine oder kaum eine Nahrung.[2]	Versuche über Ernährung grüner Pflanzen fehlen, dürften auch kaum Aussicht auf Erfolg haben.	

Bei Aldehyden hat man, wenn man Ernährungsversuche anstellen will, meist mit dem giftigen Charakter derselben zu kämpfen.

Häufig sind sie noch bei sehr großen Verdünnungen giftig.

Ganz besonders ist dies bei dem Formaldehyd der Fall, der ja deswegen auch in der Praxis vielfach als ein Desinfektionsmittel gebraucht wird.

Trotzdem ist es gelungen, gerade mit diesem Stoffe ein positives Resultat zu erzielen.

Es wurden zu diesem Zwecke einerseits Verdünnungen von 0·001 Proz. angewendet, andererseits leicht spaltbare, wenig giftige Verbindungen, welche bei der Spaltung in den Zellen Formaldehyd freigeben mußten, gebraucht.

Vom Verfasser wurde dem Formaldehyd hauptsächlich aus dem Grunde besondere Aufmerksamkeit zugewendet, weil derselbe das hypothetische Zwischenglied bei der Kohlensäureassimilation ist (A. v. Baeyer).

Wir haben ja auch in dem Formaldehyd eine Substanz von der idealen Zusammensetzung CH_2O vor uns, deren Bildung nach aller Berechnung der Eiweißsynthese, nicht bloß der Kohlehydratsynthese, vorausgehen muß.

---

[1] B. in *Dingl. Pol. Journ.* Bd. XXX.

[2] O. Loew in *Bakteriol. Centralblatt.* 1892. Nr. 11/12.

Es wäre höchst mißlich für alle bisherige Spekulation, wenn sich unter keinen Umständen ein positives Resultat mit Formaldehyd erhalten ließe.

Der schließliche Erfolg läßt aber nicht bloß die Formaldehydsynthese mir darum wahrscheinlicher erscheinen, sondern auch die Hoffnung aufkommen, daß noch mit anderen bisher versagenden Stoffen ein positives Resultat erhalten wird.

Die Erfolge, die ich z. B. beim Begießen von Kohl- und anderen (Topf-) Pflanzen mit 1—0·5proz. Methylalkohol hatte, lassen vermuten, daß eine organische Ernährung grüner Pflanzen noch in viel weitergehendem Grade als bisher möglich ist, wenn nur die richtigen Bedingungen gefunden werden.

Vermutlich lassen sich die grünen Pflanzen mit allen Stoffen ernähren, welche fähig sind, unter dem Einfluß von lebendem Protoplasma CH_2O abzuspalten (die N-Ernährung hängt von der Fähigkeit, NH_2 abzuspalten oder zu bilden, ab).

Bezüglich der Kohlehydraternährung von Pflanzen sei auf einige neuere Versuche des Verfassers[1] hingewiesen. Zunächst eine tabellarische Zusammenstellung über Kohlehydrate und einige andere Stoffe:

Name der Substanz	Chemische Formel	Ernährungsversuchsergebnis	Bemerkungen
l-Arabinose	$C_6H_{10}O_5$, OH OH H CH_2OH C C C COH H H OH	Meine Versuche über die Verwendbarkeit der Arabinose zur Ernährung von Spirogyren fielen negativ aus. Es wurde im Licht (bei Kohlensäureausschluß) keine Stärke angesetzt.	Mit Hefe gärt die Arabinose nicht.
Rhamnose (Isodulcit)	$C_6H_{12}O_5 + H_2O$ eine Methylpentose, OH OH H CH_3CHOH C C C COH H H OH	Keine Stärkebildung konnte an Spirogyra beobachtet werden.	Nicht gärungsfähig.
Erythrit (eine Tetrose)	$C_4H_{10}O_4$ $CH_2OH \cdot CHOH \cdot CHOH \cdot$ $\cdot CH_2OH$	Kein Stärkeansatz in Spirogyren.	Auch Blütenpflanzen setzen mit Erythritlösung keine Stärke an.
Xylose	Pentose	Ernährungsversuche mit Xylose an Spirogyren ergaben ein entschieden negatives Resultat.	Xylose vergärt mit Hefe nicht.

[1] Pflügers *Archiv*. Bd. CLXIII.

Name der Substanz	Chemische Formal	Ernährungsversuchsergebnis	Bemerkungen
Sorbin (Sorbose)	$H_2OHC \cdot (CHOH)_3 \cdot$ $\cdot CO \cdot CH_2OH$, eine Ketose	Der Spirogyrenversuch fiel negativ aus.	
Schleimsäure	OH H H OH COOH C C C C COOH H OH OH H	Trotz direkten Sonnenlichtes ergab sich in Spirogyra keine Stärkebildung bei Darbietung 1proz. Schleimsäurelösung.	
Lävulinsäure	$CH_3 \cdot CO \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CO_2H$, eine Ketonsäure mit 5 C-Atomen	Resultat negativ.	
Malonsäure	$CO_2H \cdot CH_2 \cdot CO_2H$	Der Ernährungsversuch an Spirogyra ergab ein positives Resultat.	
Traubensäure	Rechtsweinsäure + Linksweinsäure	Der Versuch ergab ein negatives Resultat an Spirogyra.	
Lävulose	H H OH CH_2OH C C C CO CH_2OH OH OH H	Meine Ernährungsversuche an Spirogyren ergaben ein negatives Resultat.	An höheren grünen Pflanzen erzielten A. Meyer und E. Laurent ein positives Resultat.
Milchzucker	$C_{12}H_{22}O_{11}$	Der Lichtversuch bei Kohlensäureausschluß ergab ein positives Resultat an Spirogyren.	Bekanntlich von einigen Hefen vergärbar.
Raffinose	$C_{18}H_{32}O_{16} + 5H_2O$	Dieselbe erzeugt als 1proz. Lösung im Licht (bei Kohlensäureausschluß) in Spirogyrenzellen Stärke.	Ist vergärbar durch kräftige Bierhefe.
Galaktose	OH OH OH H CH_2OH C C C C COH H H H OH	Ein Ernährungsversuch an Spirogyra minima und Zygnema cruciatum fiel positiv aus.	Vergärt unter günstigen Bedingungen mit kräftiger Bierhefe.

Das Auffallendste unter den erhaltenen Resultaten ist jedenfalls das mit Lävulose.

Dieser sonst als guter Nährstoff anerkannte Zucker versagt bei Spirogyra; ein Zeichen, daß es sich mit dem Protoplasma ähnlich verhält wie mit den Enzymen, welche oft von nahe verwandten Stoffen nur den einen angreifen.

Es ist das eine Erscheinung, welche mit der Konfiguration des Protoplasmas bzw. der Fermente einerseits, der Kohlehydrat- oder Eiweißmoleküle andererseits zusammenhängt.

Die Lävulosemoleküle können offenbar von dem Spirogyrenprotoplasma weder gespalten noch als Ganzes zum Eiweißaufbau oder zur Stärkebildung verwendet werden.

Die in der Zusammenstellung nicht erwähnte Dextrose ist schon wiederholt bei verschiedenen Pflanzen als Stärkebildner befunden worden; sie ist es auch bei Spirogyra.

Was die Stärkebildung in den Pflanzen anbelangt, so ist sie scheinbar eine direkte Folge geeigneter Kohlenstoffnahrung.

Doch dürfte es wohl verfehlt sein, eine direkte Umwandlung von Milchzucker, Raffinose, Galaktose, Glyzerin usw. in Stärke anzunehmen. Vermutlich findet vorher eine Zerspaltung unter Bildung der zum Stärke- und Eiweißaufbau dienlichen CH_2O-Gruppe statt. Darauf weist schon die mannigfaltige Beschaffenheit der zum Stärkeaufbau dienenden Moleküle hin.

Auch macht es bei genauerer Überlegung den Eindruck, als sei die Stärke überhaupt niemals primär, sondern stets ein sekundäres, aus den Amyloplasten, d. h. aus dem lebenden Protoplasma, stammendes Produkt. Demnach würde die Stärke aus dem Protoplasmaeiweiß abgespalten und käme erst in zweiter Linie zustande. Faktisch entsteht jedes Stärkekörnchen an einem Chlorophyllkörper oder einem Amyloplasten, niemals frei im Zellsafte.

Daß Kohlehydrate aus Eiweiß entstehen können, wird ja auch sonst angenommen.

Umgekehrt müssen wir wohl auch annehmen, daß das Kohlehydratmolekül, um ernährend, d. h. zellbauend, zu wirken, in Eiweiß verwandelt werden muß.

Freilich eine andere Ernährung, die in der Verbrennung der zugeführten Substanz besteht, kann direkt mit dem Kohlehydrat zustande kommen.

Im übrigen ist die Ernährbarkeit der Pflanzen mit Kohlehydraten eigentlich selbstverständlich, da ja im normalen Stoffwechsel der Pflanzen eine solche immer vorkommt.

Nur die Möglichkeit einer künstlichen Ernährung mit Kohlehydraten ist neu.

Sie ist jetzt zweifellos wie die mit vielen anderen organischen Stoffen festgestellt.

Pentosen, Glykogen, Stärke.

Stärke wird meist aus Pentosen nicht gebildet; ebenso kein Glykogen.

Man darf aber nicht glauben, daß die Hefe oder andere Pilze mit den Pentosen gar nichts anzufangen wissen.

Verfasser hat, wie schon erwähnt, verschiedene Stoffe auf ihre Ernährungsfähigkeit, d. h. ihre Verwendbarkeit als Kohlenstoffquelle geprüft, indem er reine Präparate der zu untersuchenden Stoffe zu einer Nährlösung als einzige Kohlenstoffquelle hinzusetzte. Die Hefe wurde spurenweise zu einer mit den reinsten Materialien hergestellten Nährlösung gebracht, worin die zu prüfende Zuckerart die einzige Kohlenstoffquelle war.

Von Zeit zu Zeit wurde nachgesehen, ob sich Trübung und Bodensatz zeigten.

Wenn ja, dann wurde zur mikroskopischen Untersuchung geschritten.

Meist wurde 0·2proz. Lösung genommen.

Binnen 4 bis vielen Tagen konnte in positiven Fällen Trübung und dann Bodensatz wahrgenommen werden.

Arabinose und Xylose, zwei Pentosen, ergaben auf diese Weise positives Resultat; sie dienten der Hefe als Kohlenstoffquelle.

Man muß also wohl unterscheiden zwischen Glykogenbildnern und Kohlenstoffquellen.

Etwas Ähnliches darf man wohl auch bezüglich der Stärkebildung sagen.

Denn es kommt vor, daß organische Kohlenstoffquellen ernährend wirken, aber doch keinen Stärkeansatz hervorrufen.

Wenn man bedenkt, daß die Kohlehydrate eine spezifische Konfiguration im Molekül besitzen, wird der Unterschied zwischen bloß ernährendem und glykogenbildenden Substanzen wohl begreiflich.

Wenn auch kein Glykogen gebildet wird, so können doch andere Kohlehydrate, ferner Eiweißstoffe als Bausteine der lebenden Zellen entstehen.

Wie verhält sich nun die Hefezelle, wenn man ihr Glykogen selbst zuführt?

E. Laurent machte die Angabe, daß die Hefezellen fähig seien, das in einer Nährlösung enthaltene Glykogen dieser zu entnehmen und anzusammeln.

Doch ist diese Behauptung von M. Cremer, ferner von Koch und Hosaeus als unrichtig erklärt worden.

An einer obergärigen wie auch an zwei untergärigen Hefen konnten

die letzteren feststellen, daß das dem Nährboden (Würze bzw. Fleischextraktlösung mit und ohne Traubenzuckerzusatz) zugefügte Glykogen, und zwar ebensowohl solches aus Tierleber wie auch das aus Hefe, ohne nachweisliche Verwertung und Ausnutzung blieb.

Ja es wirkte herabstimmend auf die Zellvermehrung und die Gärkraft.

Die Hefeernte und der Alkoholgehalt in den mit Glykogen versetzten Zuchten fiel geringer aus als in den davon freien.

Sie schlossen daraus auf das Unvermögen der Hefezellen zur Ausscheidung eines hydrolysierenden Enzymes, durch welches das Glykogen der Nährlösung in vergärbaren Zucker hatte übergeführt werden können.

Im Innern der Hefezellen kann die Hydrolyse vollzogen werden, wie schon aus der gelegentlichen Verwendung des Glykogens in der Zelle hervorgeht.

Daß die Hydrolyse durch ein besonderes Ferment, die Glykogenase, bewirkt wird, nicht durch das Hefeplasma selbst, geht schon aus der Beobachtung Cremers hervor, wonach Hefe, in Chloroformwasser gelegt, ihr Glykogen hydrolysiert.

Auch die Tatsache, daß das Glykogen durch Hefepreßsaft vergoren wird, spricht hierfür.

Rapp hat dies beobachtet.

Da nun das Glykogen keinenfalls direkt vergoren wird, sondern erst nach vorausgegangener Spaltung, da ferner in dem Hefepreßsaft wahrscheinlich kein lebendes Plasma mehr vorhanden ist, so muß diese Erscheinung auf das Wirken eines Fermentes, der noch hypothetischen, weil noch nicht isolierten Glykogenase, geschoben werden.

Dasselbe durchdringt die Zellmembran nicht, sondern wirkt nur im Innern der Zellen.

Bis jetzt wurde von folgenden Nichtzuckern und Nicht-Eiweißstoffen nachgewiesen, daß sie Anlaß zur Glykogenaufspeicherung geben können: Milchsäure, Bernsteinsäure, Apfelsäure, Asparagin, Glutamin, Mannit.

Es ist natürlich ausgeschlossen, daß diese Stoffe alle direkt zum Aufbau des Glykogens dienen; sie müssen zuerst zerlegt, reduziert, oxydiert usw. werden, um tauglich zu sein.

Mit Formaldehyd ist die Glykogenbildung bei Hefe bis jetzt nicht gelungen.

Sicherlich liegt das an der Giftigkeit des Formaldehydes.

Denn man muß die Formaldehydlösung so verdünnen, daß eine ernährende Wirkung kaum durch Glykogenablagerung sichtbar werden kann.

Nimmt man stärkere Lösungen als 0·005 bis 0·002 Proz., so tritt eine schädliche Wirkung an der Hefe ein.

Vielleicht kann auch hier durch die Methode beständiger Zufuhr von Spuren des Formaldehyds (wie bei Spirogyren) zum Ziele führen.

Wahrscheinlich ist es ja, daß das Formaldehyd durch die Hefe zu Glykogen aufgebaut wird, nachdem doch aus dem Formaldehyd so leicht Zucker wird und dieser nach den Untersuchungen von E. Laurent (an Hefe) und M. Cremer (an Tieren) als Glykogenbildner dienen kann.

Grube[1] hat im Verlauf seiner Untersuchungen über Zucker und Glykogen an der Schildkrötenleber auch das Formaldehyd in den Kreis seiner Betrachtungen gezogen.

Er nahm auch Durchströmungsversuche mit Formaldehyd an der überlebenden Schildkrötenleber vor, um die Frage zu entscheiden, ob das Leberglykogen auch aus kleineren Bausteinen, als der Zucker ist, entstehen könne.

Nach den Angaben von Grube ergaben die ersten nicht veröffentlichten Versuche negative Resultate, weil die Konzentration des Formaldehyds zu stark genommen war.

In den weiteren Versuchen wurde deshalb das Formaldehyd nur in ganz schwacher Konzentration angewendet.

Um aber der Leber eine genügend große Menge zuzuführen, wurden große Mengen Durchspülungsflüssigkeit längere Zeit durch die Leber geleitet.

Grube verwendete bei seinen Versuchen Lösungen, welche 0·01 bis 0·02 Proz. Formaldehyd enthielten.

Da das käufliche Formaldehyd nur 40proz. ist, so war die wirklich von ihm angewendete Konzentration halb so gering, also 0·05 bis 0·01 Proz.

Seine sämtlichen Versuche hatten unter verschiedenen Versuchsbedingungen immer ein positives Ergebnis.

Freilich wurde dieses Ergebnis in letzter Zeit von Schöndorff und Grebe angezweifelt.[2] Die Verfasser glauben auf Grund ihrer Versuche die Ansicht aussprechen zu müssen, daß die Bildung von Glykogen aus Formaldehyd in der überlebenden Schildkrötenleber nicht erwiesen sei.

Es ist zweifellos zu begrüßen, daß auch Tierphysiologen sich nunmehr der Frage, ob aus Formaldehyd in den Zellen Kohlehydrat werden könne, zugewendet haben.

Freilich die große Bedeutung wie auf pflanzenphysiologischem Gebiete hat die Formaldehydforschung in der Tierphysiologie nicht.

Denn bei Pflanzen handelt es sich darum, ob der Formaldehyd generell

---

[1] Grube, Entstehung von Glykogen aus Formaldehyd, Pflügers *Archiv.* Bd. XXI.

[2] Pflügers *Archiv.* Bd. CXXXVIII. 1911.

als Zwischenglied bei der Assimilation, als erste Stufe der Kohlensäurereduktion, auftritt.

Von diesem Standpunkte aus ist es nun eigentlich nicht unverständlich, wenn der Formaldehyd bei Pilzen kein Glykogen ergibt. Denn der Formaldehyd ist sonst Vorstufe zur Stärke, und letzte wird bei Pilzen nicht gebildet.

Das Glykogen ist außer bei der Hefe noch bei Aethalium septicum, dem Schleimpilz der Gerberlohe, gefunden worden.

Behrend, ferner Reinke und Rodewald behaupteten seine Identität mit dem Glykogen der Säugetierleber.

Das Fuligo-Plasmodium enthält nach Reinke 4·7 Proz. Glykogen.

Im Epiplasma der Scheibenpilze, deren stark lichtbrechendes Aussehen gleich nach Ausbildung der Sporen bereits de Bary 1863 hervorgehoben hatte, fand Errera eine in Vakuolen gelöst vorkommende Substanz vor, welche die rotbraune Jodreaktion des Glykogens ergab.

Errera entdeckte dieselbe Substanz dann auch in der Hefe, ferner in dem Pferdemistpilz Pilobolus, in dem schwarzen Schimmelpilz Phycomyces nitens und bei einer Anzahl von Basidienpilzen.

Grüne und nicht grüne Pflanzen (speziell Pilze).

Bei der Ernährung grüner Pflanzen tritt die Kohlensäureassimilation so sehr in den Vordergrund, daß man seit der Entdeckung dieses fundamentalen Vorganges die organische Ernährung grüner Pflanzen fast völlig vergessen hat.

Und doch ist dieselbe zweifellos normalerweise vorhanden, wie die einfachste Überlegung lehrt, wenigstens als innerer von Pflanzenteil zu Pflanzenteil wirkender Vorgang.

Denn die Assimilate müssen doch von den wachsenden Teilen des Pflanzenkörpers, wie Knospen, Wurzelspitzen, verwendet werden. Sie werden ihnen als Zuckerlösungen, Asparaginlösungen usw. zugeleitet; die in Wachstum und Zellteilung begriffenen Zellen nehmen die Lösung auf und verwandeln sie in Zellhaut, Protoplasmaeiweiß usw.

In den Reservenahrungsbehältern, wie Samenknollen, werden die zugeleiteten Lösungen von Nährstoff in Ablagerungsstärke, Proteinkörner usw. verwandelt.

Freilich sind das nur wenige Stoffe, um deren Zuleitung und Assimilation es sich innerhalb der Pflanzen handelt. Eine Ernährung von Zelle zu Zelle bedient sich meist immer wieder derselben Stoffe, wie Zucker,

und Amidokörper. Pepton, das auch diffusibel ist, scheint in Pflanzen wenig aufzutreten. Ich konnte bei meinen Untersuchungen über vegetative Pflanzenteile[1] niemals Pepton feststellen.

Auch Schulze fand in den Extrakten von Keimpflanzen, jungem Gras, Kartoffel- und Rübensaft Peptone nur in sehr geringer Menge vor.

Dagegen kommen Peptone in Pilzen vor; in der Preßhefe nach O. Loew 2 Proz.

Verfasser fand in derselben 2·5 Proz. Pepton.

Da die Peptone im Pflanzenreich nur sehr wenig auftreten, ausgenommen die Pilze und allenfalls die fleischfressenden Pflanzen, so scheint bei den meisten grünen Pflanzen der Eiweißumsatz einen plötzlichen Verlauf zu nehmen.

Nach Schulze und Barbieri sind in Keimlingen als Spaltungsprodukte die einfachen Amidokörper Asparagin, Tyrosin, Leuzin usw. nachzuweisen.

Albumosen scheinen im Pflanzenreich ebenso selten zu sein wie Peptone.

Eine organische Ernährung von außen ist bisher fast als ausschließliche Pilzgewohnheit betrachtet worden.

Die Pilze sind an organische Nährsubstrate angepaßt.

Die grünen Pflanzen sind an kohlensäurehaltige Luft akkommodiert.

Das ist die landläufige Vorstellung.

Doch trifft das nicht ganz zu.

Wir müssen auch bei grünen Pflanzen stark mit organischer Ernährung von außen rechnen.

Denn organische Zerfallsprodukte, welche von abgestorbenen Tieren und Wurzeln, abgefallenen Blättern u. dgl. herrühren, sind fast stets im Boden vorhanden, der Vegetation trägt; ebenso in dem Wasser, das Pflanzen und Tiere produziert.

Sie werden, wie aus vorausgehenden Notizen ersichtlich ist, verwendet.

Die Zahl der organischen Stoffe, welche bei grünen Pflanzen zur Ernährung verwendet werden können, ist viel größer als man glauben möchte.

Ja sie grenzt an die der Pilze.

Wenn auch bei vielen Stoffen das Ernährungsvermögen gegen grüne Pflanzen noch nicht feststeht, so läßt sich doch nach den bisherigen Ergebnissen annehmen, daß sie auch grünen Pflanzen zur Nahrung dienen können.

---

[1] Pflügers *Archiv.* Bd. LXXX.

Denn die wirklich bei Chlorophyllpflanzen geprüften Stoffe sind fast alle Nährstoffe für Pilze und für grüne Pflanzen zugleich.

Es liegt sicherlich nur an der geringeren Zahl der Untersuchungen bei grünen Pflanzen, daß sie den Pilzen noch nachstehen.

Bisher sind folgende Substanzen als ernährungsfähig erkannt worden (die gemeinsamen Nährstoffe sind gesperrt gedruckt):

Für Pilze: Methylalkohol, Äthylalkohol, Propylalkohol, Phenol, Glyzerin, Äthylenglykol, Erythrit (?), Mannit, Dulcit, Hydrochinon, Tannin, Ameisensäure, Essigsäure, Oxalsäure, Propionsäure, Milchsäure, Bernsteinsäure, Weinsäure, Buttersäure, Citronensäure, Asparaginsäure, Glyoxalsäure, Brenztraubensäure, Lävulinsäure, Salicylsäure, Chinasäure, Benzoesäure, Fumarsäure, Malonsäure, Äpfelsäure, Rohrzucker, Traubenzucker, Lävulose, Galaktose, Milchzucker, Rhamnose, Sorbin, Arabinose, Maltose, Inosit, Mannose, Xylose, Erythrodextrin, Salicin, Amygdalin, Raffinose Dextrin, Inulin, Nitrozellulose, Zellulose, (Para-)Oxybenzaldehyd, formaldehydschwefligsaures Natron, Methylal, Harnstoff, Glykokoll, Trimethylamin (?), Methylamin, Propylamin, Asparagin, Asparaginsäure, Leuzin, Tyrosin, Toluidin, Anilin, Kreatin, Hydantoin, Allantoin, Pepton, Acetessigester, Aceton, Formaldehyd als Methylal oder selten als formaldehydschwefligsaures Natron (aber immer schwerer als bei grünen Pflanzen), Äthylaldehyd, p-Oxybenzaldehyd.

Für Algen und andere grüne Pflanzen: Methylalkohol, Äthylalkohol (?), Phenol, Glyzerin, Äthylenglykol, Mannit, Dulcit, Essigsäure, Oxalsäure, Propionsäure, Milchsäure, Bernsteinsäure, Weinsäure, Buttersäure, Baldriansäure, Zitronensäure, Asparaginsäure, Glyoxalsäure, Äpfelsäure, Rohrzucker, Traubenzucker, Lävulose, Galaktose, Milchzucker, Maltose, Formaldehyd, formaldehydschwefligsaures Natron, Methylal, Harnstoff, Glykokoll, Trimethylamin, Asparaginsäure, Leuzin, Tyrosin, Kreatin, Hydantoin, Formaldehyd (frei und als Methylal oder formaldehydschwefligsaures Natron), Pepton, Acetessigester.

Es gibt somit eine beträchtliche Anzahl von organischen Pilznährstoffen, welche auch C-Quellen für Algen und andere grüne Pflanzen sind.

Verhältnismäßig wenig C-Quellen der Pilze sind bei den grünen Pflanzen nicht verzeichnet; es liegt das dann häufig an dem Mangel an Versuchen bei grünen Pflanzen.

Wenn noch mehr mit grünen Pflanzen experimentiert sein wird, dann wird auch die Übereinstimmung obiger Reihen noch größer werden.

Manchmal kann eine C-Quelle, welche von Algen verwendet wird, bei Pilzen nicht gebraucht werden, bisweilen aber beträchtlich schwerer.

Freies Formaldehyd und Methylal, ferner formaldehydschwefligsaures Natron werden von grünen Pflanzen bei geeigneter Verdünnung gut als C-Quelle verwendet, bei Pilzen schwierig oder (freier Formaldehyd) gar nicht.

Das Trennende zwischen Pilzen und grünen Pflanzen liegt also hauptsächlich in der Kohlensäureassimilation.

Doch ist auch hierin schon eine Brücke gefunden worden.

Man hat Bakterien aufgefunden, welche Kohlensäure assimilieren können.

Hierher gehört die von Winogradsky zuerst benannte Bakterienart Nitromonas; sie wurde schon vorher von Hueppe beobachtet, welcher auch die nitrifizierende Eigenschaft derselben erkannte.[1]

Darüber, wie der Pilz aus der Kohlensäure des kohlensauren Ammoniaks sich organische Stoffe bereitet, haben sowohl Hueppe als Winogradsky Ansichten geäußert.

Winogradsky meint, es entstehe zuerst Harnstoff, Hueppe dagegen Formaldehyd bzw. ein Kohlehydrat sei das erste Assimilationsprodukt.

O. Loew[2] schließt sich der Ansicht Hueppes an, mit dem Unterschiede jedoch, daß er die Nitrifikation nicht als Folge der Kohlensäurezersetzung betrachtet, sondern umgekehrt.

„Würde nämlich die Kohlensäureassimilation unabhängig von der Nitrifikation bzw. Anwesenheit von Ammoniak sein, so müßte der Pilz auch dann gedeihen können, wenn ihm der Stickstoff in Form von Nitraten geboten wäre; denn Nitrate zu reduzieren ist ja eine viel leichtere Arbeit, als Kohlensäure zu assimilieren nach Art des Chlorophyllkörpers.“

„Man kann sich den Vorgang am plausibelsten so denken, daß bei unvollständiger Oxydation des Ammoniaks Wasserstoff disponibel wird, der zur Reduktion der Kohlensäure dient“:

$$\begin{aligned} \text{I.}\quad & 2NH_3 + 2O_2 = 2NO_2H + 4H \\ \text{II.}\quad & CO_2 + 4H = H_2O + CH_2O \\ \text{III.}\quad & 6\,CH_2O = C_6H_{12}O\ . \end{aligned}$$

[1] *Biol. Centralbl.* Bd. VII. S. 702.

[2] *Centralbl. f. Bakt.* Bd. IX. 1891.

Schlußbemerkung über Assimilationsenergie.

Es ist bekannt, daß die Assimilationsenergie schon der grünen Pflanzen recht verschieden ist. Die Blätter der einen Pflanzenart zerlegen mehr Kohlensäure, die anderer weniger.

Besonders groß erscheint die Verschiedenheit der Assimilationsenergie, wenn man grüne Pflanzen und Pilze vergleicht. Eine Verdreifachung ist bei Hefe in wenigen Tagen zu erreichen, wie folgender Versuch von Naegeli zeigt.

Rohrzucker	10·0	Proz.
Ammontartrat	0·5	„
Dikaliumphosphat	0·035	„
Magnesiumsulfat	0·006	„
Kalziumchlorid	0·0015	„
Ammonsulfat	0·0061	„

Flasche *a* und *c* im Brutkasten (28—32° C).
„ *b* „ *d* Zimmertemperatur (15—19° C).
„ *a* „ *b* mit kontinuierlichem Luftstrom.

Nach Verschwinden des Zuckers wurde immer wieder neue Nährlösung aufgegeben.

Die saure Reaktion wurde immer durch Ammoniak beseitigt.

Nach 10 Tagen zeigte sich:

	Ernte in Vielfachem der Aussaat
a	**2·91**
b	2·27
c	1·62
d	1·06

Luft und Wärme zugleich angewendet begünstigen also das Wachstum ungemein.

Mangelhafter Luftzutritt wirkt ungünstig.

Bei *a* war die Hefe binnen 10 Tagen verdreifacht worden.

Das ist noch nicht einmal die höchste Leistung.

Man kann noch wesentlich stärkeres Wachstum und größere Trockensubstanzvermehrung erzielen, wenn man andere Mischungen nimmt.

Immerhin kann man schon aus dem Naegeli-Loewschen Versuche entnehmen, wie sehr überlegen die Assimilationsenergie der Hefe jener der grünen Pflanzen ist. Dabei arbeitet die Hefe ohne Licht. Freilich bewältigt sie nur organische Nährstoffe, niemals Kohlensäure.

Ein Teil der Überlegenheit von Hefe (und Bakterien) mag darin liegen, daß die Hefezelle immer nur wiederum assimilationsfähige und vermehrungsfähige Zellen erzeugt, während bei grünen Pflanzen häufig eine große Anzahl der Zellen des Pflanzenkörpers keine Vermehrungsfähigkeit und kein Assimilationsvermögen mehr besitzt.

Weitere Feststellungen in diesem Punkte wären gewiß von großem Interesse.

Metzger & Wittig, Leipzig.

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. MAX RUBNER,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1916.

FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT ZWEIUNDSECHZIG FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1917

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.



Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis und 30 *M* Honorar für den Druckbogen zu 16 Seiten.

Beiträge sind an

Professor Dr. **Max Rubner** in Berlin W., Kurfürstendamm 241 III

portofrei einzusenden — **Zeichnungen zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf vom Manuskript getrennten Blättern beizulegen.** Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, eine **Zusammenstellung**, die dem Lithographen als Vorlage für die Anordnung dienen kann, beizufügen.

Über die Struktur des Chitins bei Arthropoden.

Von

Dr. Willy Haß.

(Aus dem zoologischen Institute der Universität Berlin.)

Lange Zeit hatte man sich damit begnügt, festzustellen, daß die Cuticula aus einzelnen Chitinlamellen zusammengesetzt sei, ohne dabei die feinere Struktur der Lamellen zu berücksichtigen. Und so kam man zu der Ansicht, daß die Cuticula der Arthropoden aus einer gleichartigen Masse, dem Chitin, aufgebaut sei.

Die Untersuchungen von Bütschli[1] und dessen Schüler Kapzow[2] trugen zunächst nicht dazu bei, die Gleichartigkeit der Chitindecke anzuzweifeln, da eine durchgehend wabige Struktur in ihr festgestellt wurde. Andererseits behauptete Biedermann[3], daß das Chitin ausgesprochen faserig gebaut sei. Die Lamellen seien aus einzelnen nebeneinanderliegenden Balken oder Fasern zusammengesetzt.

Unabhängig davon konnte P. Schulze[4] einen fibrillären Bau des Chitins bestätigen, zeigte aber, daß die Balken in einer homogenen Grundsubstanz eingebettet sind.

Schon vorher war durch die Untersuchungen u. a. von Wester[5] bekannt geworden, daß gewisse Bestandteile der Cuticula, die auch äußerlich durch Pigmentierung gekennzeichnet waren, nicht die Chitinreaktion zeigten.

---

[1] Bütschli, *Untersuchungen über Strukturen.* Leipzig 1898.

[2] Bütschli und Kapzow, Untersuchungen über den feineren Bau der Cuticula bei Insekten. *Ztschr. f. wiss. Zool.* Bd. 98, 1911.

[3] Biedermann, a) Geformte Sekrete. *Z. f. allg. Physiologie.* II. 1903; b) in H. Winterstein, *Lehrb. d. vergl. Physiol.* Bd. III. S. 814 bis 887.

[4] P. Schulze, Chitin- und andere Cuticularstrukturen bei Insekten. *Verhdlg. d. Deutsch. Zool. Ges. z. Bremen.* 23. Vers. 1913.

[5] Wester, Über die Verbreitung und Lokalisation des Chitins im Tierreich, *Zool. Jahrb.* Syst. 28. 1909/10.

P. Schulzes Arbeiten erwiesen nun weiter, daß der feinere Bau der Cuticula keineswegs ein einheitlicher und daß das sogenannte Chitin in morphologischer und chemischer Beziehung recht verschieden zusammengesetzt ist.

Die Untersuchungen dieser Autoren erstreckten sich fast ausschließlich auf Coleopteren und zwei Vertreter der Crustaceen (Potamobius astacus L., Squilla mantis L.), die infolge ihrer mächtigen Chitinskelette sehr geeignete Objekte darbieten.

Es mußte nun von Interesse sein, die Untersuchungen auch auf andere Gruppen der Arthropoden auszudehnen, um ein umfassendes Urteil fällen zu können.

Im Verlaufe der vorliegenden Arbeit zeigte sich, daß zwar die Strukturen des Chitins bei den untersuchten Gruppen im Prinzip die gleichen, der Aufbau der Cuticula aber überaus mannigfach ist, daß auch davon eine eingehende Schilderung gegeben werden mußte.

Material und Technik.

Bei der Feinheit der Chitinstrukturen war es von Vorteil, möglichst große und dicke Objekte zu verwenden, da sie nach entsprechender Behandlung der Präparation keinerlei Schwierigkeiten entgegenstellten.

Es war ursprünglich eine umfassende Untersuchung sämtlicher Arthropodenordnungen beabsichtigt, was bei einem einheitlichen Bau des Chitins und der Cuticula wohl durchführbar gewesen wäre. Im Verlaufe der Arbeit stellte sich aber heraus, daß das Chitinskelett sowohl der verschiedenen Gattungen als auch die Integumente der verschiedenen Körperteile der einzelnen Vertreter im Aufbau und Struktur recht verschiedene Anordnungen zeigt, die eine eingehende Untersuchung erheischten.

Die vom Körper losgelösten Chitinteile wurden zwecks guter Durchdringung zerschnitten und nach der von P. Schulze angegebenen Methode mit den besten Erfolgen behandelt. Diese „Chitinerweichungsflüssigkeit", — ursprgl. von Grenacher zum Entpigmentieren angewandt[1], — besteht aus „2 bis 3 Teilen 25prozentiger Salzsäure auf 100 eines Gemenges von 1 Teil Glyzerin mit 2 starken (80prozentigen) Alkohols."[2] Nach 8tägiger Einwirkung im Thermostaten bei etwa 58° lassen sich die Präparate mit Hilfe von Nadeln und Skalpel leicht zerlegen. Andere Autoren benutzten zur Aufweichung des Chitins Alkalilauge, die aber den Nachteil hat, gewisse Bestand-

[1] *Abh. Nat. Ges. Halle.* 1886. 16. S. 214: *Z. wiss. Mikr.* 2. 1885. S. 244.

[2] P. Schulze gibt in seiner Arbeit irrtümlich den HCl-Gehalt zu hoch an. Es muß dort heißen: anstatt 3 Teile HCl; — 3 Prozent HCl des Gemenges aus Glyzerin und Alkohol.

teile der Cuticula zu lösen. Doch führte auch die Behandlung mit Alkalilauge zu wichtigen Aufschlüssen. Durch die nach der Schulzeschen Methode behandelten Objekte ließen sich meist beliebig dicke Schnitte (3 bis 15 $\mu\mu$) anfertigen. Sie wurden mit Eisenhämatoxylin, kombiniert mit Pikrinsäure gefärbt. Totalpräparate ließen Strukturen gut erkennen nach Behandlung mit Eosin, Karmin auch Jod.

Im nachstehenden Verzeichnis finden sich in systematischer Anordnung die untersuchten Spezies:

Branchiata:

Potamobius astacus L.
Squilla mantis Latr.

Tracheata:

Orthoptera.

1. Gryllidae:
   Gryllotalpa vulgaris L.
   Gryllotalpa orientalis
   Liogryllus campestris L.
   etl. unbest. Spez. aus Sumatra.
2. Locustidae.
   Decticus verrucivorus L.
   Locusta viridissima L.
   Meconema varium F.
3. Acridiidae.
   Stethophyma fuscum Pall.
   Schistocerca peregrina L.
   Diestramena marmorata. Haan.
4. Phasmatidae.
   Bacillus rossi F.
   Phyllium sp.
   Phasma sp.
5. Blattidae.
   Stylopyga orientalis L.
   Heterogamia aegyptiaca L.
6. Dermaptera.
   Forficula auricularia L.

Noch während seiner Untersuchungen machte mich Herr P. Schulze auf die eigenartigen Chitinstrukturen der Arthropoden aufmerksam. Er teilte mir frdl. die Ergebnisse seiner Arbeiten bereits vor der Drucklegung mit, um mir eine eingehende Kenntnis der Verhältnisse zu ermöglichen.

Zur Orientierung studierte ich gleichfalls Coleopteren (vgl. meine Arbeit über die Skulptur von Brachycerus apterus L.)[1], um nach einwandfreier Bestätigung der Resultate von P. Schulze die Untersuchungen auf andere Ordnungen der Arthropoden auszudehnen.

Eine kurze Übersicht über die Schulzesche Übersicht wird zu einem besseren Verständnis meiner Angaben beitragen.

Aus der Schulzeschen Arbeit geht hervor, daß der Aufbau des Chitinskelettes der Arthropoden weder in morphologischer noch in chemischer Beziehung ein einheitlicher ist. Hauptsächlich wurden die Untersuchungen an den Elytren der Coleopteren gemacht, die die vollendetste Ausbildung der Chitinstrukturen zeigen.

Jede Elytre besteht aus zwei lamellösen Decken, die durch einen Hohlraum getrennt zueinander durch Querbrücken (Säulchen) verbunden sind. Der Bau der dorsalen Decke ist ungemein komplizierter als die einfache Konstruktion der ventralen Lage, die meist nur aus wenigen Lamellen besteht und als typische Bildungen an der Unterseite Dörnchen (daher Dornenschicht) trägt.

Die dorsale Decke kompliziert sich durch das Hinzutreten von verschiedenartigen, jedenfalls nie chitinigen Elementen, deren Entstehung, Struktur und chemische Beschaffenheit recht verschieden sind.

Nochmals sei hervorgehoben, daß das eigentliche Chitin aus übereinanderliegenden Lamellen besteht, deren prinzipieller Bau bei allen untersuchten Objekten der gleiche ist.

Die Lamellen stellen „Platten mit einem mehr oder weniger deutlichen fibrillären Bau dar, in dem sich verschiedenartige Aussparungen, die mit einer nicht fibrillären, weniger differenzierten Zwischensubstanz angefüllt sind, finden. Der Fibrillenverlauf ändert sich mehr oder weniger in aufeinanderfolgenden Schichten“. Mit anderen Worten: die Lamellen sind glashelle Platten, in die aus Fibrillen bestehende „Balken“ in eine hyaline, nach halb plasmatisch erscheinende Grundsubstanz eingebettet sind. Bemerkenswert ist, daß sich wohl die Balken, aber nicht die Zwischensubstanz mit Eosin färben, was auf eine chemische Verschiedenheit hindeutet. Die Lamellen sind nun so angeordnet, daß die Balken der verschiedenen Lagen sich nicht decken, sondern unter wechselnden Winkeln sich kreuzen, wodurch bei Aufsicht eine netzartige Streifung der Elytren zustande kommt. Durch die verschiedene Anordnung der Fibrillenzüge wird verhindert, daß Stellen geringerer Festigkeit durch Zusammentreffen von Zwischensubstanz gebildet werden. Doch ist letzteres nicht ganz vermieden, wodurch infolge

[1] W. Haß, Über das Zustandekommen der Flügeldeckenskulptur einiger Brachyzeriden. *Sitzber. d. Ges. naturf. Freunde.* Berlin 1914. Nr. 7.

der größeren Lichtbrechung der Zwischensubstanz der Eindruck von Poren („Kreuzporen“ Biedermanns) vorgetäuscht wird.

Die Zwischensubstanz kann bis auf geringe Reste zugunsten der Balken verschwinden, wodurch das äußere Kennzeichnen der Balkennatur — die Kreuzstreifigkeit — verloren geht.

Die nichtchitinigen Elemente der Cuticula teilen sich in solche, die in Alkalilauge leicht, und andere, die sehr schwer löslich sind. Solche, die Umwandlungsprodukte des Plasmas — wie das Chitin — sind und andere, die ein Sekret besonderer Drüsen darstellen. Nach dem Stande der Untersuchungen lassen sich drei Typen der nichtchitinigen Bestandteile aufstellen

Weitere Einzelheiten der P. Schulzeschen Arbeit werden im Text Berücksichtigung finden, da sie nicht von prinzipieller Bedeutung sind.

Ich beginne die Arbeit mit der Beschreibung der Strukturen bei Crustaceen.

Der Chitinpanzer des Flußkrebses und etlicher verwandter Formen erfreute sich von jeher des regen Interesses der Zoologen. Doch sind bis heute infolge des überaus komplizierten und feinen Baues noch nicht einmal die prinzipiellen Strukturen, die einerseits als wabig, andererseits als fibrillär angenommen werden, unbestritten festgestellt.

Bütschli vertritt den Standpunkt, daß die Elementarstruktur der Krebscuticula eine Wabenstruktur sei, während u. a. v. Königsborn[1], Tullberg[2] und vor allen Biedermann einen fibrillären Bau sehen.

Es erübrigt sich, die wenig genauen Beobachtungen der älteren Autoren, die sich mit diesem Gegenstande beschäftigt haben, aufzuzählen, da Biedermann in dem „Handbuch der vgl. Physiologie“ eine erschöpfende, kritische Zusammenstellung der Literatur bereits gegeben hat.

Nach Bütschli besteht der Krebspanzer überall aus mehreren übereinanderliegenden Lagen, die fast alle selbst wieder geschichtet sind. Er unterscheidet fünf Lagen, die in dorso-ventraler Richtung aufgezählt als:

1. Grenzhaut (auch Grenzmembran), 2. Außenlage, 3. Pigmentlage, 4. Hauptlage und 5. Innenlage bezeichnet werden.

Die nur etwa 1 μ dicke, stark lichtbrechende Grenzmembran zeichnet sich durch eine intensivere Bindung von Farbstoffen und vor allem durch ihre Unlöslichkeit in rauchender (37prozentiger) Salzsäure aus, die die gesamte übrige Panzermasse in Lösung bringt. Die Membran zeigt eine poly-

---

[1] Königsborn, Untersuchungen über nicht zelluläre Organismen. Berlin 1877.

[2] Tullberg, Studien über den feineren Bau und das Wachstum des Hummerpanzers und der Molluskenschalen. *Schwed. Akad. d. Wissensch.* 1881.

gonale Felderung nach Art von Zellumrissen, die wiederum „schön wabig strukturiert ist". Auf Querschnitten beträgt die Höhe der Membran selten mehr als eine einzige Wabenlage und zeigt das Bild eines „senkrecht gestrichelten Alveolarsaums." „Die äußere Kontur wird von einer etwas dickeren und dunkleren, pellikulaartigen Lamelle gebildet."

Die beträchtlich dickere Außenlage (7) zeigt, wie schon Nathusius erkannte, eine horizontale Schichtung und Andeutungen feinster senkrecht aufsteigender Kanälchen. Weiter bemerkt Bütschli in der Außenlage „eine durch und durch feinwabige Struktur. Das Wabenwerk ist gleichzeitig nach zwei Richtungen mehr oder weniger orientiert; einmal sehr deutlich welligstreifig in senkrechter Richtung und dann auch mehr oder weniger ausgesprochen in horizontaler." In Wasser fein zerklopfte Querschnitte zeigen, „daß nicht etwa sich kreuzende Fasern oder durcheinander gewundene feinste Röhrchen vorliegen, sondern ein Wabenwerk."

Auch in der Pigmentlage liegt eine „durchaus feinnetzige, d. h. eigentlich wabige Struktur" vor. Die Waben sind in senkrecht aufsteigenden Reihen übereinandergestellt, weshalb die gesamte Pigmentschicht zart senkrecht gestreift erscheint. Mit dieser säuligen Streifung, die ganz zurücktreten kann, kombiniert sich oft eine quergeschichtete, so daß dann ein schön quergestreiftes Wabenwerk vorliegt. Ausgezeichnet ist die Pigmentlage durch eine im toten Panzer rote Pigmentierung.

Die vierte Lage, die Hauptlage, besteht aus zahlreichen Schichten, die außen am dicksten und sich nach innen immer mehr verdünnen. Durch alle Schichten gehen Kanälchen ununterbrochen in einer Schraubenlinie hindurch. Die Substanz, in die die Kanälchen eingebettet sind, sollte nach Ansicht der früheren Beobachter nicht weiter strukturiert oder eventuell feinfaserig sein. Nach Bütschli ist die Grundsubstanz aber wabig gebaut. Und zwar trennen immer ein, höchstens zwei Wabenlagen der Grundsubstanz die Kanälchen, die eine doppelte Breite besitzen. Die Kanälchen, auch, da es sich nicht um hohle Gebilde handelt, als Säulen bezeichnet, sind ihrerseits auch wabig strukturiert und es hat den Anschein, als ob in ihnen „ein feineres, zusammenhängendes, einheitliches Kanälchen in gestreckter Schraubenlinie verliefe."

Die Innenlage schließlich zeigt eine sehr feine Querschichtung. Es alternieren dunkle und helle Schichten (bes. hervortretend nach Färbung), was Bütschli durch Unterschiede in der Substanzmenge begründet. Auch die Innenlage ist wabig gebaut und zeigt größte Ähnlichkeit mit der Pigmentlage.

Zu ganz anderen Vorstellungen über den Bau der Skelette der Arthropoden gelangte Biedermann, der sich eingehend mit Skelett- und Stützsubstanzen im Tierreiche beschäftigte.

Der Aufbau der Käfercuticula, die einen klaren Einblick in die feineren Strukturverhältnisse gewährt, überzeugte Biedermann von einer fibrillären Struktur. Bei den fortgesetzten Untersuchungen an Crustaceen fand er auch hier einen ausgesprochen fibrillären Bau.

Nach seinen Angaben ist die Cuticula der Crustaceen deutlich geschichtet. „Das ganze Schichtsystem ist aus annähernd gleich breiten, abwechselnd dunklen und hellen Streifen zusammengesetzt. Dieselben werden von sehr dichtstehenden und meist etwas wellig verlaufenden Porenkanälchen senkrecht durchsetzt. Die hellen Schichten erscheinen in deutlichster Weise längsstreifig, während die dunklen Lagen ein eigentümlich punktiertes Aussehen haben, das durch die Querschnitte der Fibrillen hervorgerufen wird.

Die einzelnen Lamellen zeigen eine feine, parallele Streifung, die durch Fasern hervorgerufen wird. Ein weiteres Skulpturelement ist durch eine feine Strichelung gegeben, die dadurch zustande kommt, daß die feinsten Chitinfibrillen zu Bündeln oder Bälkchen zusammengefaßt sind, die unter Bildung von reichlichen Anastomosen kurze linsenförmige Spalten zwischen sich freilassen, die sich beim Trocknen der Chitinhäutchen mit Luft füllen.

Aus diesen Angaben Biedermanns geht leider nicht klar hervor, in welchem Verhältnis die parallelen Fasern und die zu Bälkchen zusammengefaßten Fibrillen zueinander stehen. Der Autor läßt durch nur kurze Spalten die Balken getrennt sein, die also meistens eine zusammenhängende Masse bilden. Das Fasern müßten dann Bestandteile der Balken und auch aus Fibrillen zusammengesetzt sein, so daß man drei Strukturlemente unterscheiden könnte: Fibrillen, Fasern und Balken. Biedermann sagt darüber zum Schluß seiner Untersuchungen nur, daß die Lamellen faserig-fibrillär, von spaltförmigen Löchern durchsetzt, also netzförmig wären.

S. 430 d. Zeitschr. f. Phys. erklärt Biedermann ausdrücklich, daß die Lamellen von sehr dichtstehenden und meist etwas wellig verlaufenden Porenkanälchen durchsetzt werden. An anderen Stellen spricht er die Vermutung aus, daß in den Kanälchen möglicherweise kalkhaltiges Blut aufsteigen könnte zwecks Inkrustierung des neuen Panzers nach der Häutung mit Kalk. Auch findet sich die Angabe, „dass ein Inhalt der Porenkanälchen existiert, kann nicht bezweifelt werden. Es ist höchstwahrscheinlich, daß bei den Crustaceen dem Inhalt der Porenkanälchen eine fibrilläre Struktur zukommt. Die Fibrillen verlaufen in jenen kanalartigen, schraubigen Kanälen.“ Biedermann hält also anscheinend die Porenkanälchen für echte Kanälchen. Es entsprechen nun den Querschnitten der Porenkanälchen jene kurzen, linsenförmigen Spalten der Lamellen. Liegen mehrere Lamellen übereinander, so macht es bisweilen den Eindruck, als ob schräg oder schrauben förmig verlaufende Kanälchen die ganze Dicke eines solchen Lamellensystems

durchsetzten. Diese Erscheinung kommt nach Biedermann im Prinzip dadurch zustande, daß die Spalten benachbarter Lamellen so übereinander liegen, daß sich ihre Richtung in der einen Schicht mit jener in der nächst darauffolgenden rechtwinklig kreuzt, und daß außerdem die Mittelpunkte der Spalten sich decken. Danach würden die Porenkanälchen mehr einem optischen Phänomen ihre Existenz verdanken und hohl sein, da sie ja eine Übereinanderlagerung von Löchern darstellen.

Eine nähere Untersuchung aller Lagen der Cuticula hat Biedermann nicht unternommen. Ihm kam es darauf an, festzustellen, „daß ein prinzipieller Unterschied im Bau des Chitinskelettes bei Crustaceen und Insekten (Käfern) nicht besteht."

Meine Untersuchungen an Crustaceen erstreckten sich auf Potamobius astacus L., Squilla mantis Latr. Am geeignetsten für die Untersuchung erwiesen sich Teile des Rückenschildes, der Beine und der Scheren. Die gereinigten Skeletteile wurden mit verdünnter (5prozentiger) Salzsäure entkalkt. Um sie der Präparation zugänglich zu machen, wurden sie teils mit der „Chitinerweichungsflüssigkeit" nach P. Schulze, teils mit Alkalilauge behandelt. So gute Resultate die Schulzesche Flüssigkeit sonst liefert, habe ich bei den Krustern doch eine Behandlung mit Alkalien vorgezogen, da sie die Präparation der Lamellen erleichtert. Zur Anfertigung von Schnitten dagegen empfiehlt sich eine längere Behandlung mit dem Schulzeschen Gemisch. Es wurden Querschnitte von 3 μ bis 15 μ Dicke angefertigt, die mit Hämatoxylin-Pikrinsäure, auch mit Methylenblau oder Jod gefärbt wurden. Am deutlichsten traten die Strukturen hervor, wenn das Präparat im Wasser untersucht wurde, da Kanadabalsam zu sehr aufhellt. Totalpräparate oder isolierte Lamellen wurden gleichfalls in Wasser untersucht, an Färbungsmitteln Eosin und Jod verwandt.

Der Krebspanzer besteht, wie bereits alle früheren Autoren hervorgehoben haben, aus zahlreichen, übereinanderliegenden Lamellen von wechselnder Stärke, die sich durch Unterschiede in der Struktur in mehrere Lagen sondern lassen An Querschnitten kann man 5 Lagen unterscheiden, die aber nur z. T. sich aus Lamellen zusammensetzen.

Wie in der Literaturübersicht erwähnt, hat Bütschli die verschiedenen Lagen bereits erkannt und benannt. In dorsoventraler Richtung ist die Reihenfolge der Schichten folgende:

1. Der Grenzsaum,
2. die Außenlage,
3. die Pigmentlage,
4. die Hauptlage,
5. die Innenlage (Fig. 1).

Werden die Schnitte gut mit Hämatoxylin-Gieson gefärbt und differenziert, so unterscheiden sich die einzelnen Lagen bereits durch eine charakteristische Färbung. Die Lamellen der Innen- und der Hauptlage nehmen eine leicht mattviolette Färbung an, wobei die erstere infolge der engeren Aneinanderlagerung der zarten Lamellen dunkler erscheint.

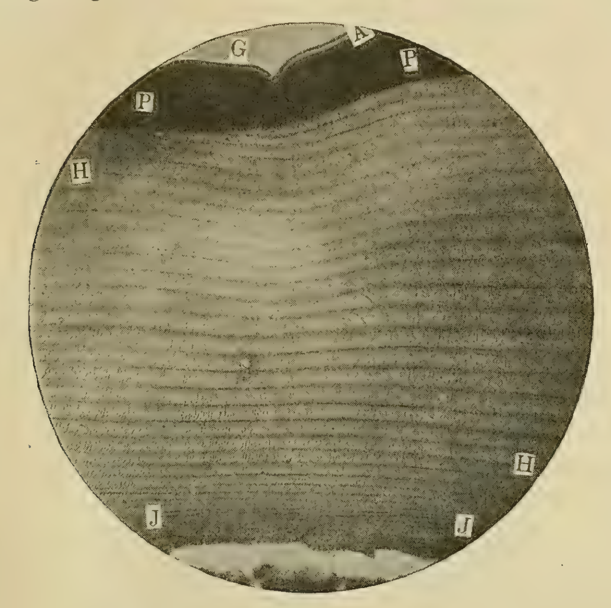


Fig. 1.
Querschnitt durch den Panzer von Potamobius astacus L.
1. Grenzsaum (*G*) 3. Pigmentlage (*P*)
2. Außenlage (*A*) 4. Hauptlage (*H*)
5. Innenlage (*J*)
Pigmentlage mit Porenkanälchen. Vergr. 400.

Die Außenlage nimmt einen hellgelben Ton an, während der Grenzsaum anscheinend ungefärbt bleibt, durch sein starkes Lichtbrechungsvermögen aber scharf von der Außenlage sich abhebt.

Ich beginne mit der Besprechung der Hauptlage, da diese durch die kräftige Entwicklung der Lamellen die Strukturen am deutlichsten zeigt.

Die Hauptlage.

Sie bildet den Hauptbestandteil der Cuticula und setzt sich aus einer großen Anzahl von Lamellen zusammen, die zur Innenschicht hin an Dicke abnehmen und allmählich in diese übergehen, in der Mitte am kräftigsten entwickelt und gegen die Pigmentschicht unmittelbar abgesetzt sind.

Die Präparation der Lamellen der Hauptlage erfolgt am besten so, daß man das obere Drittel der Cuticula entfernt und die weitere Isolierung von der Ventralseite aus vornimmt, bis das Objekt nur noch aus 1 bis 2 Lamellen besteht. Während bei Astacus die Strukturen von solcher Feinheit sind, daß man kaum einen richtigen Einblick gewinnen kann, eignen sich alle Chitinteile von Squilla vorzüglich für die Untersuchung. Soweit nicht besonders hervorgehoben, gelten alle Angaben für Squilla mantis Latr.

Schon eine mittlere Vergrößerung zeigt uns in den Lamellen eine feine Streifung, die durch lange, nebeneinanderlaufende Bänder erzeugt wird. Die Seitenflächen der Bänder —auch als Balken bezeichnet — liegen nicht einander an, sondern sind durch eine glashelle, homogene, stark lichtbrechende Substanz getrennt bzw. verbunden. P. Schulze beschreibt und bildet von Lucanus cervus L. die gleiche Struktur ab und nennt die zwischen den Balken liegende helle Masse Zwischensubstanz. Er glaubt, daß sie der Materialersparnis diene. Ich möchte hinzufügen, daß die Zwischensubstanz auch als Kittmasse in Betracht kommt. Herr P. Schulze teilte mir freundlichst mit, daß man bei Käfern an abgezogenen Lamellen oft Teile der Zwischensubstanz darunterliegender Lamellen beobachten könne, während die Balken unversehrt bleiben. Auch dies würde meine Vermutung, die Zwischensubstanz eine Kittmasse, bestätigen.

Die Bänder durchziehen oft lange Strecken unverzweigt die Lamellen, um dann mit ihren Nachbarn zu anastomosieren und stärkere Bänder zu bilden. Doch bald tritt eine Aufspaltung in die ursprünglichen Bestantdeile wieder ein, die sich weiterhin spalten oder von neuem vereinigen können. Das Verschmelzen der Bänder geschieht auf Kosten der Zwischensubstanz, die auch als eine Art Ausfüllung der zwischen den Fasern entstehenden Zwischenräume angesprochen werden kann.

Bisweilen gelingt es festzustellen, daß die Bänder wiederum aus feinsten Fibrillen bestehen. Infolge der großen Zartheit dieser Elementarbestandteile konnte über ihren Bau und die Art ihrer Vereinigung zu Bändern nichts Näheres ermittelt werden. Es scheint aber, daß die Fibrillen einer Kittmasse entbehren. Die spaltförmigen Löcher (Biedermann) beteiligen sich nicht strukturbildend, sondern sind sekundäre Erscheinungen, die später besprochen werden sollen.

Die Richtung der Faserzüge ist in ein und derselben Lamelle nicht immer konstant, sondern es wird oft ein sanfter Bogen beschrieben. Um genügende Verfestigung herzustellen, wird der Verlauf der Balken nicht in allen Lamellen der gleiche sein. Wir sehen, daß die Balken übereinanderliegender Lamellen sich ungefähr rechtwinklig überkreuzen. Doch können auch er-

hebliche Abweichungen vorkommen, besonders wenn die Balken aus der geraden Richtung weiterhin in Bogenzügen verlaufen.

Die Balkenstruktur der Lamellen ist meist von großer Regelmäßigkeit. Doch können auch Verkürzungen der Balken, also zahlreiche Anastomosen, auftreten, so daß die Zwischensubstanz nur in Form kurzer Striche vorhanden ist.

Nach meinen Beobachtungen ist die fibrilläre Struktur (also stark reduzierte Zwischensubstanz) um so mehr ausgebildet, je mehr diese Teile der Cuticula beansprucht werden. Über die physiologische Seite sind jedenfalls noch umfangreiche Untersuchungen anzustellen.

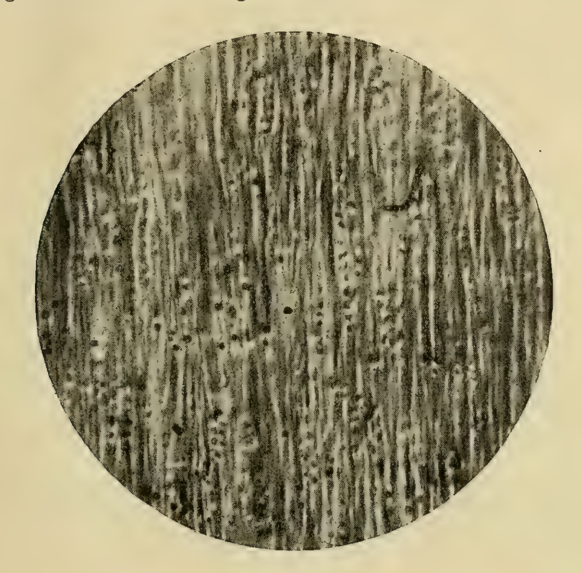


Fig. 2.
Sehne aus der Scheere von Potamobius astacus L.
Zwischensubstanz reduziert mit „Porenkanälchen". Vergr. 1800.

Als wichtig möchte ich nochmals hervorheben, daß die Balken oder Bänder nicht aneinanderstoßen, sondern durch die Zwischensubstanz verbunden sind. Der Bau stimmt also völlig mit dem der Käferlamellen (spez. Luc. cerv. L.) überein. Bei den Crustaceen tritt nun noch eine Komplikation in Form vertikaler Elemente hinzu.

Betrachten wir ein Flächenbild der Hauptlage von Astacus, so erscheint uns die ganze Fläche von meist rundlichen, bei verschiedener Einstellung teils hell, teils dunkel erscheinenden porenähnlichen Gebilden durchsetzt, die sich als die Querschnitte der später zu besprechenden „Porenkanälchen" herausstellen. An vielen Stellen in den Lamellen erkennt man noch die hellen Umrisse der Chitinogenzellen. Die Umrisse treten besonders deutlich hervor,

da sie von den „Poren“ freibleiben, die sich im Innern der Zellbilder dicht gedrängt vorfinden. Durchschnittlich entfallen auf den Abdruck einer Zelle ungefähr 20 „Poren“ (Fig. 3).

Zweifellos geht daraus hervor, daß die Porenkanälchen in enger Beziehung zu den chitinabscheidenden Zellen stehen. Bei Astacus sind die Zellumrisse viel zahlreicher vorhanden als bei Squilla.

Die „Poren“ wird man wohl schwerlich für den Ausdruck einer wabigen Struktur ansprechen, obgleich bei einer Übereinanderlagerung mehrerer Lamellen eine wabige Struktur leicht vorgetäuscht werden kann. Bemerkens-



Fig. 3.
Aufsicht auf die Pigmentlage von Potamobius astacus L.
Die Querschnitte der Porenkanälchen stehen in Komplexen (K) zusammen, die dem Umfang einer Chitinbildungszelle entsprechen. Vergr. 1800.

wert ist nun, daß die fibrilläre Struktur in der Nähe und innerhalb der Zellumrisse stark zurücktritt. An solchen Stellen hat das Chitin ein fast homogenes Aussehen. In der Cuticula von Gryllotalpa vulgaris L. habe ich die gleichen Verhältnisse feststellen können, die dann auftreten, wenn ventral an das Chitin Muskelfasern ansetzen.

In der Regel läßt sich eine bestimmte Anordnung der Querschnitte der Porenkanälchen nicht feststellen. Sie scheinen vielmehr unregelmäßig in den Lamellen bald dicht, bald weiterstehend verstreut zu sein. Doch verhalten sie sich insofern regelmäßig, als sie stets innerhalb der Zwischensubstanz zu finden sind. Mit anderen Worten: die Porenkanälchen durch-

setzen die Cuticula an solchen Stellen, die ihrer Bildung wenig Widerstand bieten und für die Funktion der Cuticula von keiner Bedeutung sind (Fig. 2, bes. 14). Biedermann, der die Poren als strukturbildend und nicht als Querschnitte der Porenkanälchen anspricht, zeichnet[1] die Trennungslinien der Balken als Doppellinien, deren Erweiterungen seine „kurzen. linsenförmigen Spalten" sind. Diese Angaben würden einigermaßen meinen Beobachtungen von Zwischensubstanz und Porenkanälchen entsprechen.

Betrachten wir uns nun die Querschnitte, so bemerken wir, daß dunkle und helle Bänder alternieren. Diese Erscheinung wird durch die verschie-

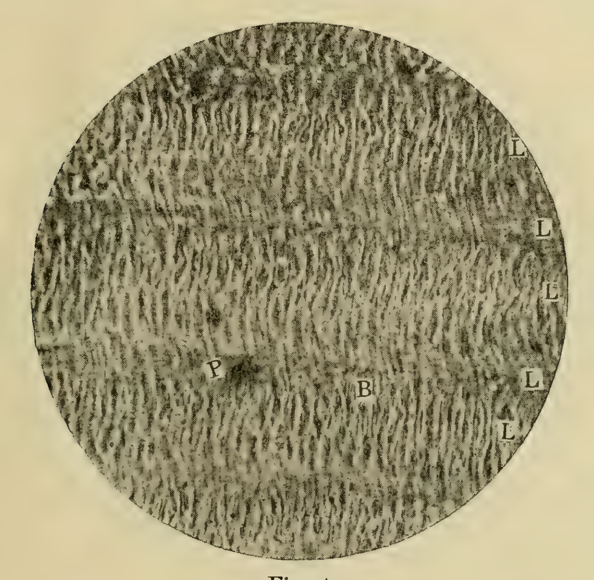


Fig. 4.
Querschnitt durch die Hauptlagen von Potamobius astacus L.
Lamellöse Schichtung (*L*).
(*P*) Porenkanälchen auch deutlich in den dunklen Lamellen sichtbar.
Zwischen den Kanälen (*B*) Balkenquerschnitte und Zwischensubstanz. Vergr. 1500.

dene Struktur der getroffenen Lamellen hervorgerufen. Geht die Schnittrichtung parallel mit der Richtung der Balken, so werden in diesen Lamellen glatte, nicht strukturierte Schnittflächen entstehen. Werden die Balken dagegen senkrecht getroffen, so werden ihre Querschnitte im allgemeinen als ungefähr rechteckige Gebilde zu sehen sein. Da die Balken aber durch die Zwischensubstanz getrennt werden, so müssen die Balken oder besser Bänderquerschnitte zwischen sich eine helle Substanz zeigen. Biedermann bildet von Coleopteren diese Verhältnisse sehr richtig ab, obgleich er auch

[1] *Zeitschrift f. Phys.* Abb. 17 bis 20.

hier von dem Vorhandensein einer Zwischensubstanz nicht spricht. Nach seinen Angaben müßten die Balken zwischen sich Lücken lassen und unverbunden nebeneinander gelagert sein.

Auf den Querschnitten von Astacus (besser von Squilla) erscheint ohne genauere Beobachtung meine obige Schilderung richtig zu sein. Dunkle, schmale, hohe Rechtecke wechseln mit hellen, stark lichtbrechenden Streifen ab. Wir könnten dies als die Querschnitte der Balken mit dazwischenliegender Zwischensubstanz deuten. Bisweilen scheinen die Balken wabig

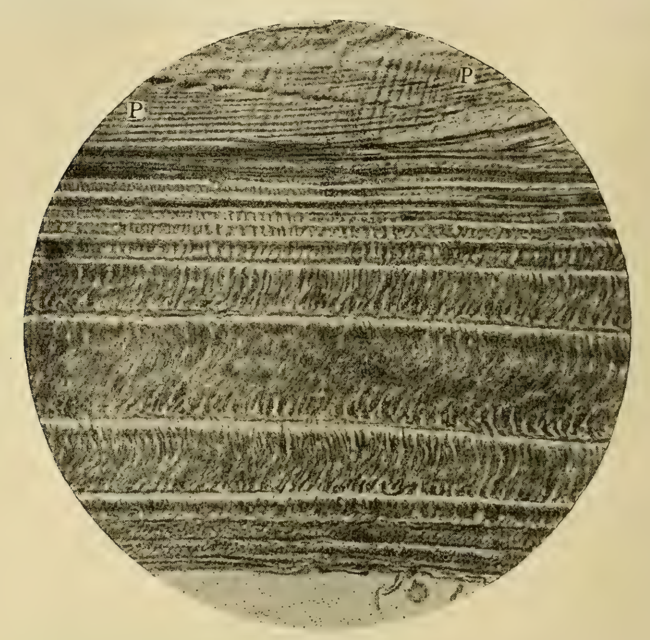


Fig. 5.
Querschnitt durch den Panzer von Squilla mantis Latr., um den Verlauf der Porenkanälchen zu zeigen. Besonders deutlich in der Pigmentlage (*P*). Es handelt sich um echte Vertikalstruktur. Vergr. 800.

gebaut zu sein, doch sind dies (wie auch Biedermann annimmt) die Querschritte der die Bänder zusammensetzenden feinsten Fibrillen. Nun kann man aber oft feststellen, daß die Zwischensubstanz ihr Ende nicht an der Grenze der Lamellen erreicht, sondern kontinuierlich durch mehrere (dunkle und helle) Lamellen hindurchgeht. Diese Feststellung ist nicht leicht, da der Verlauf kein gerader, sondern ein (wie schon Bütschli feststellte) schraubenförmig gewundener ist. Es handelt sich um die vielfach beschriebenen Porenkanälchen, deren Querschnitte bereits als in der Zwischensubstanz liegend beschrieben wurden (Fig. 4).

Eine kurze Literaturübersicht wird zeigen, daß alle Autoren die Porenkanälchen für hohle oder ausgefüllte Kanälchen halten. Vallentin[1] hält die Vertikalstreifung für Röhrchen, die mit Kalk gefüllt sein sollten. Hasse[2] und Lavalle[3] sehen in ihr eine feinfaserige Struktur. Andere, wie Braun[4], Vitzou[5] und Willamson sprechen von Kanälen. Nach Braun standen auf dem ganzen Saum der Chitinogenzellen dicht gedrängt fadenförmige Fortsätze, um welche sich die Chitinsubstanz ablagerte. Tullberg hält die vertikale Streifung für durchtretende Fasern, die vielleicht selbst hohl wären. Nathusius v. Königsborn betrachtet die Porenkanälchen nicht als einfache, lufterfüllte Gänge, sondern schreibt ihnen eine besondere, von der Umgebung verschiedene Wand zu. Bütschli benennt sie Säulchen, da er sie nicht für einfache hohle Kanäle hält, sondern ihnen einen aus Waben bestehenden Bau zuschreibt. Biedermanns Ansicht schließlich ist bereits in der Einleitung dargestellt worden. Läßt man Querschnitte trocknen und untersucht sie dann in Wasser, so treten die Porenkanälchen in aller Deutlichkeit hervor, da sie sich z. T. mit Luft erfüllt haben. Nicht nur in der Hauptlage, auch in der Innen- und Pigmentlage lassen sie sich feststellen. Man erkennt, daß es sich um rundliche Kanälchen handelt, deren Lumen sich ziemlich gleich bleibt. Ihr Verlauf ist ein schraubenförmig gewundener, daß oft nur Teile auf Querschnitten zu finden sind. Besonders die Pigmentlage zeigt einwandfrei, daß die Porenkanäle wirkliche Kanäle sind und nicht durch eine zufällige Untereinanderlagerung von strukturbildenden Spalten im Chitin (Biedermann) zustande kommen (Fig. 5.) Die dunklen Rechtecke der Lamellen auf Querschnitten zwischen den Porenkanälchen sind also nicht als den Balken entsprechend aufzufassen, sondern müssen ihrerseits wiederum eine Struktur zeigen. An genau senkrechten Schnitten gelingt es festzustellen, daß die Rechtecke in eine verschiedene Anzahl von Segmenten zerfallen, deren Trennungslinien parallel den Porenkanälchen laufen und sich als 1 bis 2 Balkenquerschnitte mit Zwischensubstanz herausstellen. In den Balken läßt sich nun wiederum eine Art von wabiger Struktur feststellen, die die Querschnitte der feinsten Fibrillen darstellen.

---

[1] Vallentin, Über die Organisation des Hautskelettes der Krustazeen. *Repert. Anat. e. Physiol.* Bd. 1, 1837.

[2] Hasse, *Observationes de sceleto Astaci fluviatilis marini.* Lipsiae 1833.

[3] Lavalle, Recherches d'anat. microscop. sur le test des Crustacées décapodes. *Ann. de Sc. nat.* 3. Ser. T. VII. 1847.

[4] Braun, Über die histologischen Vorgänge bei der Häutung des Flußkrebses. *Arb. a. d. Zool.-Zootom. Inst. z. Würzburg.* Bd. II, 1875.

[5] Vitzou, Recherches sur la structure et la formation des Segments chez les Crustacées décapodes. *Arch. de Zool. experim.* T. X, 1882.

Die Querschnitte der Lamellen, deren Balken parallel zur Schnittrichtung ziehen, erscheinen deutlich faserig. Auch erweckt es den Anschein, als ob mit den benachbarten Lamellen Fasern ausgetauscht werden. Damit steht jedoch nicht in Einklang, daß sich ohne große Mühe die Lamellen isolieren lassen. Auch weisen die Lamellen keine Verletzungen auf, die sicherlich beim Herausreißen aus dem Lamellenverband entstehen müßten.

Zerzupft man vorsichtig dickere Durchschnitte der Cuticula, so überdecken die Rißstellen helle Fasern, die ihre Fortsetzung in den scheinbaren Porenkanälchen finden. Es könnten dies entweder wirkliche Fasern oder

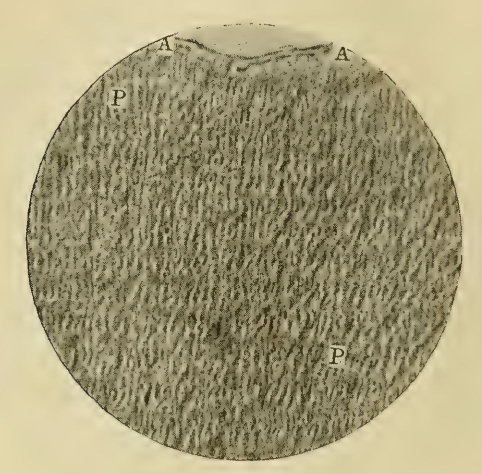


Fig. 6.
Querschnitt durch die Pigmentlage (*P*) von Potamobius astacus L.
Lamellöse Schichtung.
In den hellen Lamellen Balkenquerschnitte und Zwischensubstanz.
Dorsal (*A*) Außensaum mit Grenzmembran.
Vergr. 1600.

auch Hohlröhrchen sein. Ich bin der Ansicht, daß wir es in den Porenkanälchen mit die Lamellen vertikal durchsetzenden Fasern — homogenen oder fibrillären — zu tun haben. Möglich ist immerhin, daß die Fasern schwinden können und Kanälchen zurückbleiben, wie es im Dentin der Zähne der Wirbeltiere der Fall ist. Jede Dentinbildungszelle (Odontoblast) sendet zahlreiche Fortsätze aus, zwischen denen das Dentin abgelagert wird. Später werden die Fortsätze zurückgezogen und das Dentin erscheint von zahlreichen Kanälchen durchbohrt. Oben wurde beschrieben, daß zahlreiche (bis zu 20) Poren innerhalb der Umrisse einer Chitinogenzelle liegen. Man könnte also die Porenkanälchen als die Reste der von den Hypodermis-

zellen ausgesandten Fortsätze auffassen, zumal Braun, Leydig[1] und Holmgren[2] ähnliche Vorgänge tatsächlich bei der Abscheidung von Chitin beobachtet haben.

Die Innenlage.

Besonders Bütschli trat dafür ein, die Innenlage als eine besondere Bildung aufzufassen. Er vergleicht ihre Struktur mit der der Pigmentlage, während sie in Wirklichkeit die zuletzt abgeschiedenen Lamellen der Hauptlage darstellt. Ich habe in der Struktur keinen Unterschied festgestellt. In jeder Cuticlua kann man beobachten, daß die untersten Lamellen (zur Matrix hin) zart und dünn werden. Die übrigen Lagen des Krebspanzers sind so überaus gegeneinander verschieden, daß die Abspaltung der Innenlage als besondere Schicht irreführend sein muß. Während man deutlich beobachten kann, daß die Abscheidung der Hauptlage zu der Pigmentlage zwei verschiedenen Phasen angehört, ist dies bei der Innenlage keineswegs der Fall. Sollte sich mit Sicherheit herausstellen, daß die Innenlage unverkalkt ist (wie Vitzou beobachtet haben will), dann wird auch diese Lage von der Hauptlage als selbständige Bildung unterschieden werden können. Ein Fehlen des Kalkes konnte ich übrigens in der Innenlage nicht feststellen, die ebenso hart und spröde ist wie die übrigen Lagen.

Die Pigmentschicht (Fig. 1, 5, 6).

Die Pigmentschicht, auch Zell- oder Wabenschicht genannt, zeichnet sich dadurch aus, daß in ihr zahlreiche Umrisse der Chitinogenzellen noch gut zu erkennen sind. Dementsprechend tritt die fibrilläre Struktur sehr zurück und ist nur an solchen Stellen gut ausgebildet, wo die Zellen fehlen. Ferner ist die Pigmentschicht die Trägerin des Panzerfarbstoffes in Form feiner, körniger Einlagerungen, die aber durch Alkohol völlig in Lösung gehen.

Bütschli sah in ihr nur ein gleichmäßiges Wabenwerk, das in zwei Richtungen horizontal und vertikal angeordnet war. Aus seinen Angaben geht nicht hervor, daß er die lamellöse Schichtung erkannt hat.

Die einzelnen Lamellen sind sehr fein und dünn; noch viel zarter als die der vermeintlichen Innenlage. Die Struktur der Lamellen entspricht der der Hauptlage, nur sind Bänder und Fibrillen weniger kräftig ausgebildet.

---

[1] Leydig, Zum feineren Bau der Arthropoden. Müllers *Arch.* 1855.

[2] Holmgren, Über das Verhalten des Chitins und Epithels zu den unterliegenden Gewebsarten d. Insekten. *Anat. Anz.* 1902.

Dagegen sind die Querschnitte deer Porenkanälchen unverändert geblieben. Wiederum ein Beweis, daß diese nicht Bestandteile der Lamellen, sondern davon unabhängig sind. Am besten erkennt man die Struktur auf Querschnitten. In dichter Anordnung durchziehen leicht gewundene Kanälchen die Pigmentlage, deren lamellöse Schichtung durch den Wechsel heller und dunkler Schichten leicht zu erkennen ist. Die Querschnitte der zwischen den Porenkanälchen liegenden Balken und der dazugehörigen Zwischensubstanz ergänzen die Bilder der Flächenansicht. Im Prinzip unterscheidet sich also die Struktur der Pigmentlage in keiner Weise von der der Hauptlage.

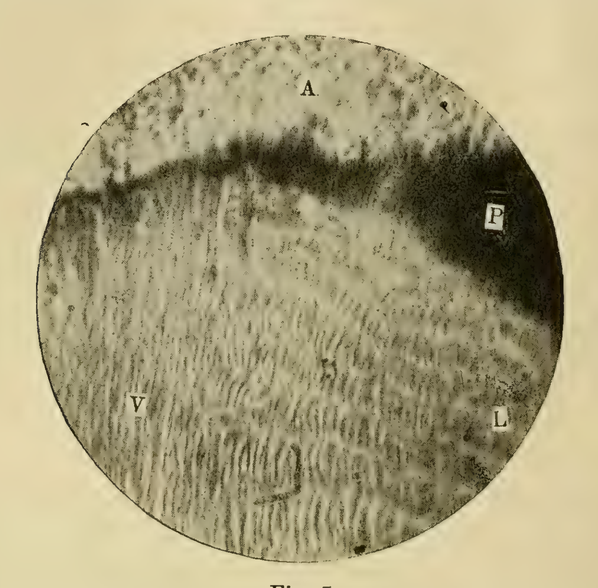


Fig. 7-
Querschnitt durch die Schere von Potamobius astacus L.
Reduktion der Pigmentlage (*P*), Verdickung der Außenlage (*A*), in die aus der Hauptlage „Porenkanälchen" (*V*) hinüberziehen.
(*L*) Lamellöse Schichtung tritt zurück. Vergr. 1300.

Merkwürdig ist die scharfe Trennung von Pigment- und Hauptlage An gut gefärbten Präparaten ist die Grenze haarscharf, eine Mischung der Farben und ein allmählicher Übergang nicht vorhanden. Das erkennt man auch an der Struktur. Die zarten Lamellen der Pigmentlage setzen sich unmittelbar gegen die dicken Schichten der Hauptlage ab, und zwar ist die Verlaufsrichtung in beiden Lagen oft eine andere, so daß die Grenzlinien nicht parallel, sondern in spitzen Winkeln zueinander laufen. Man gewinnt daraus den Eindruck, daß die Abscheidung der beiden Lagen zwei verschiedenen Perioden angehört. Bisweilen kann die Pigmentschicht auch gänzlich

fehlen oder nur einen schmalen Saum zwischen Haupt- und Außenlage bilden (Fig. 7). An solchen Stellen ist eine lamellöse Schichtung der Hauptlage nicht vorhanden. Die „Balkensubstanz“ bildet eine zusammenhängende, strukturlose Masse, durchzogen von dichtgedrängten Porenkanälchen. Die vermeintlichen „Kanälchen“ sind nicht hohl, sondern stets mit einer der Zwischensubstanz gleichenden Materie angefüllt. Eine vom Inhalt abgesetzte Wandung besitzen sie nicht. Ich halte diese angeblichen „Porenkanälchen“ für stützende Elemente, die senkrecht zur Oberfläche gerichtet sind. — Die Zwischensubstanz fehlt hier völlig. Ob diese mit der die „Porenkanälchen“ bildenden Substanz identisch ist, ließ sich nicht erkennen. Wahrscheinlich bestehen nur strukturelle Unterschiede, ein chemischer läßt sich nicht nachweisen.

Die Außenlage.

Die Außenlage, deren Dicke nach Bütschli durchschnittlich 7 $\mu\mu$ beträgt, kann nach meinen Befunden eine sehr verschiedene Mächtigkeit besitzen. Nathusius erkannte bereits eine horizontale, also lamellöse Schichtung und Andeutungen feinster senkrecht aufsteigender Kanälchen. Bütschli sah in ihr wiederum eine wabige Struktur.

Das Studium dieser Lage ist ungeheuer erschwert durch die Feinheit ihrer Bestandteile. Mit Sicherheit läßt sich feststellen, daß auch die Außenlage aus Lamellen besteht, die von Kanälchen durchbohrt werden, die mit den Porenkanälchen in Verbindung stehen, und wahrscheinlich Fortsetzungen derselben darstellen. Eine Isolierung der Lamellen ist mir nicht einwandfrei gelungen. Doch habe ich an Flächenpräparaten keine Unterschiede gegen die Struktur der Hauptlage feststellen können. Stets bot sich das Bild von Zellumrissen mit einem Inhalt von Porenkanälchen oder feine fibrilläre Strukturen mit den Querschnitten der Kanäle.

Der Grenzsaum.

Das Charakteristikum des Grenzsaumes ist seine Unlöslichkeit in konzentrierter Salzsäure, im Gegensatz zur übrigen Panzermasse. Auf eine andere Methode habe ich nachgeprüft, daß der Grenzsaum tatsächlich nicht aus Chitin besteht. Kocht man Chitin einige Zeit in starker Alkalilauge, so findet eine Umsetzung in Chitosan statt, das durch Jod und verdünnte Schwefelsäure tief violett gefärbt wird.

Querschnitte durch den mit Kalilauge behandelten Panzer wurden der Chitosanprobe unterworfen mit dem Erfolge, daß sich alle Lagen mit Aus-

nahme der Grenzmembran tief violett färbten. Letztere nahm nur einen hellgelben Ton an, der sie mit Leichtigkeit vom Chitin unterscheiden ließ. Andere nicht chitinige Bestandteile der Cuticula (z. B. bei Coleopteren) haben die Eigenschaft, in Alkalilauge löslich zu sein.

Die Grenzmembran zeichnet sich also durch Unlöslichkeit in konz. Salzsäure und Alkalilauge aus und gibt sich durch den negativen Ausfall der Chitosanprobe als nicht chitinig zu erkennen.

Über die Struktur habe ich nun in Erfahrung bringen können, daß der Grenzsaum nicht lamellös geschichtet ist, er macht vielmehr den Eindruck eines groben Alveolarsaumes. Bei Aufsicht erscheinen wiederum die Umrisse der Chitinbildungszellen. Die Strichelung des Saumes kann möglicherweise durch die letzten Ausläufer der Porenkanälchen bzw. Vertikalfasern hervorgerufen werden, doch läßt sich ein Zusammenhang nicht mit Sicherheit feststellen.

Fasse ich die Resultate meiner Untersuchungen noch einmal kurz zusammen, so ergibt sich, daß die Cuticula der Crustaceen, abgesehen vom Kalk, aus einem nicht chitinigen Teil der Grenzmembran und einem chitinigen Teil der übrigen Panzermasse zusammengesetzt ist. Mit Ausnahme des Grenzsaumes, der selbst nur den Wert einer Lamelle hat, besteht die Cuticula durchgehend aus Lamellen von wechselnder Dicke. Doch ist ihre prinzipielle Struktur stets die gleiche; sie besteht nämlich aus Fibrillen, die sich zu Bändern zusammenschließen, deren Verband durch eine besondere Kittmasse — die Zwischensubstanz — herbeigeführt wird. Die ganze Dicke der Cuticula durchsetzen rechtwinklig zur Oberfläche „Kanälchen“, die möglicherweise Fasern darstellen, deren Verlauf ein schraubenförmig gewundener ist.

Die Untersuchungen wurden an Orthopteren fortgeführt und vor allem Gryllotalpa vulgaris L. und nahe verwandte Formen für die Präparation verwandt.

Gryllotalpa.

Ein besonderes und auffälliges Merkmal aller Saltatorien ist der mächtig entwickelte Prothorax, dessen Chitinbekleidung infolge seiner Dicke ein gutes Untersuchungsobjekt darstellt. Die Gestalt ist bei den einzelnen Familien recht verschieden.

So zeichnet sich Gryllotalpa durch eine kolossale Entwicklung des Prothorax aus, gegen den der Meso- und Metathorax völlig zurücktreten. Das Pronotum umfaßt nicht nur den dorsalen Teil, sondern bildet auch die Seitendecken und ist mit dem Sternit fest verschmolzen. Rostrad steht die Chitinbekleidung des ersten Brustsegmentes ein beträchtliches Stück über den Kopf hinweg, der bis zu einem gewissen Grade darunter eingezogen werden

kann. Seitlich und kaudal finden sich keine oder nur geringe frei hervorstehende Ränder. Es ist dies von Wichtigkeit, da damit ein besonderer Bau verbunden ist. Präpariert man das Pronotum heraus, so zeigt die ventrale Ansicht, daß an der Unterseite Muskelmassen ansetzen mit Ausnahme des hervorstehenden Vorder- und (einem geringen Teile) des Hinterrandes.

Bei der Betrachtung von der dorsalen Seite fällt das sammetartige Aussehen auf, das von einer dichten Behaarung herrührt. Um die Mediane gruppiert finden sich Stellen, die völlig von Haaren entblößt sind und eine besondere Struktur haben. Es handelt sich um Muskelansatzstellen, die später genauer besprochen werden.

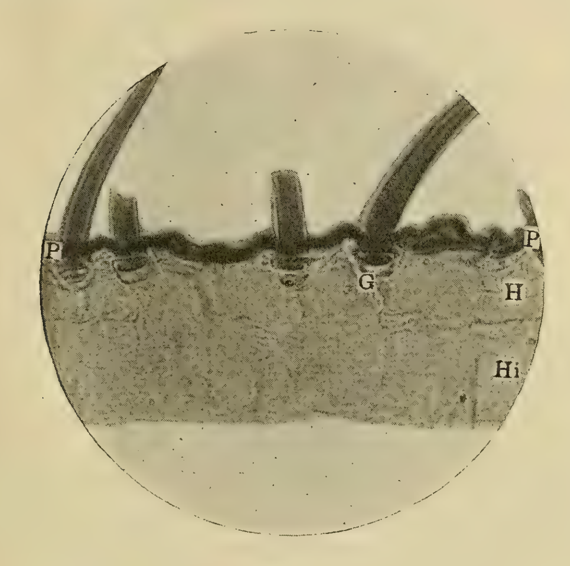


Fig. 8.
Querschnitt durch das Pronotum von Gryllotalpa vulgaris L.
Man unterscheidet drei Lagen.
(*P*) Pigmentlage mit Grenzsaum; (*H*) äußere, (*Hi*) innere Hauptlage; *G* Haargrube mit herantretenden Kanälchen. Vergr. 1000.

Querschnitte durch den mittleren Teil des Pronotums ergeben folgendes Bild (Fig. 8). Deutlich ließen sich drei durch Färbung bzw. Struktur gesonderte Schichten erkennen. Die äußere Lage (von wechselnder Dicke durchschnittlich $^1/_6$ der Cuticula) ist braun pigmentiert und nimmt bei Behandlung mit Farbstoffen keine sichtbare, andere Färbung an. In der Mitte liegt eine fast homogen erscheinende, glashelle Partie, die sich bei der angewandten Hämat.-Giesonmethode weinrot färbt. Den Abschluß bildet die dritte und stärkste Lage, aus deutlichen Lamellen bestehend,

die sich intensiv rotviolett färbt. Chitinteile, die stark beansprucht werden, wie z. B. die der Mandibel, Femur und bes. der Schaufelfläche der Grabfüße, zeigen mannigfache Modifikationen. So kann die braune Lage bis auf einen dünnen Saum reduziert werden, die innere, homogen erscheinende Partie aus dicken Lamellen bestehen, also der dritten Lage gleich sein.

Die braun pigmentierte, dorsale Lage bezeichne ich als Pigmentschicht, besonders da sie viel Ähnlichkeit mit der entsprechenden Schicht bei den Crustaceen zeigt, gegenüber der unpigmentierten Hauptschicht, die sich wiederum in eine (mittlere) äußere und (der Matrix aufliegende) innere Hauptlage sondern. Ich will gleich erwähnen, daß sich auf der Pigmentschicht ein feiner, stark lichtbrechender Saum findet, den ich (analog den Crustaceen) als Grenzsaum bezeichne.

An der Cuticula von Gryllotalpa lassen sich also vier Lagen unterscheiden, die, in dorso-ventraler Reihenfolge aufgezählt, folgende sind:

1. der Grenzsaum,
2. die Pigmentschicht,
3. die Hauptschicht, bestehend aus
   äußerer u.
   innerer Hauptlage.

Wenden wir uns nun zur Besprechung der Pigmentschicht.

Sie überzieht kontinuierlich fast alle Chitinteile in sehr verschiedener Dicke. Am Pronotum beträgt sie oft $^1/_4$, an den Grabfüßen nur den geringsten Teil der Cuticula. Nach Behandlung mit dem P. Schulzeschen Gemisch gelingt es leicht, die Hauptlagen von der pigmenthaltigen Schicht zu isolieren, die jedoch auch keine einheitliche Lage darstellt. Der größte Teil der Körperoberfläche ist dicht behaart, wodurch das sammetartige Aussehen der Tiere hervorgerufen wird. Es finden sich Haare von sehr verschiedener Größe und Stärke, deren feinerer Bau doch stets derselbe ist. Auf dem Dorsum des Pronotums stehen dicke, dunkelbraun pigmentierte Haare in größeren Zwischenräumen, die durch eine größere Anzahl feiner, wenig pigmenthaltiger Härchen besetzt sind. An den Seiten des Pronotums, des Abdomens und den Beinen finden sich dichtgedrängt kurze, starre Borsten von konstanter Größe. Die zum apikalen Ende spitz zulaufenden Haare erreichen ihre größet Dicke bereits ein Stückchen vor dem basalen Ende. Nach der Basis zu erfolgt eine starke Verjüngung des Haarschaftes, der schließlich seinen Abschluß in einer kräftigen, knopfförmigen Verdickung findet, die das Haar in einer von der äußeren Hauptlage gebildeten Haargrube festhält. Diese ist dorsal nur so weit offen, daß die eingeschnürten Teile des Haares hindurchgehen, während die basale Verdickung nicht

passieren kann. Ferner wird erreicht, daß das Haar nicht in die Grube zurückgestoßen werden kann, da hinter der Verjüngung nach der Spitze zu das Haar wiederum anschwillt. Der dorsale Verschluß der Haargrube erfolgt durch eine derbe Membran, die sich, vom Chitin ausgehend, an den Haarschaft anlegt. Auf diese Weise ist eine Bewegung des Haares nach allen Richtungen hin ermöglicht. Proximal tritt an jede Haargrube ein Kanal heran, der nach Untersuchungen von P. Schulze (bei Luc. cerv. L.) vielleicht eine Nervenfaser enthält.



Fig. 9.
Flächenaufsicht auf das Pronotum von Gryllotalpa vulgaris L. Muskelansatzstellen, die stets von Haaren frei sind und sich durch eine regelmäßige Felderung (Umrisse der Chitinzellen) auszeichnen, die dorsad erhaben ist (Relief). Zwischen den Haaren keine Umrisse. Vergr. 580.

Es wurde bereits erwähnt, daß sich besonders auf dem Dorsum des Pronotums, ferner auf den Tergiten, am Kopf und Beinen haarfreie Stellen befinden, denen Muskelansätze auf der ventralen Seite entsprechen. Hier wurde anscheinend das Material der Hypodermiszellen bereits zur Bildung einer Muskelsehne verbraucht, die auf Kosten der Haare erfolgte. Bei Aufsicht erblickt man eine regelmäßige, polygonale Felderung in den haarlosen Komplexen (Fig. 9). Es sind dies die erhalten gebliebenen Umrisse der Chitinbildungszellen, die ein schwach dorsad erhabenes Relief darstellen. Zwischen den Haaren dagegen sind die Umrisse gewöhnlich nicht erhalten. Ist die Behaarung gering — die Haare stehen also weit auseinander —, so zeigt auch die Pigmentschicht eine bisweilen verzerrte, so doch deutlich erkenn-

bare Felderung. Je dichter die Haare zusammenrücken, um so unregelmäßiger und verschwommener werden die Zellkonturen, bis sie völlig verschwinden. Es besteht also eine Wechselwirkung zwischen der Dichte der Behaarung und dem Grade der Ausbildung einer polygonalen Felderung der Pigmentschicht (Fig. 9, 10, 11).

Wir sehen, daß für die Pigmentlage des Crustaceenpanzers eine sechseckige Felderung (Umrisse der Chitinogenzellen) charakteristisch ist. P. Schulze gibt für ähnliche Schichten der Cuticula der Coleopteren ebenfalls eine polygonale Felderung als typisch an. Weitere erst später zu erörternde Merkmale haben die obigen drei Fälle gemeinsam, so daß man nicht fehlgehen wird, sie für entsprechende Bildungen zu halten. Darauf hinweisen



Fig. 10.
Eine untere Stelle aus der Pigmentlage. Fortsetzung der Felderung. Umrisse verzerrt. Gryllotalpa vulgaris L. Vergr. 900.

möchte ich noch, daß die Sechsecke infolge ihrer Größe nicht mit Bütschlischen Waben zu verwechseln sind.

Über den Verlauf der Zellumrisse ist zu sagen, daß sie tief in die äußere und innere Hauptlage — wenn auch oft verzerrt — verfolgt werden können. Meistenteils sind sie jedoch auf die Pigmentlage beschränkt (Fig. 10).

Was nun die Struktur der Pigmentschicht betrifft, so habe ich an Querschnitten eine lamellöse Schichtung nicht mit Sicherheit feststellen können. Der äußere (geringere) Teil einer dickeren Pigmentschicht erscheint meist dunkler pigmentiert als die übrige Masse. Lamellen lassen sich nicht von der Gesamtmasse abziehen, die sich bei der Präparation und auch auf Schnitten stets als Ganzes von den Hauptlagen abhebt. Bruchstücke kann

man durch Zerquetschen unter dem Deckglase erhalten, die sich als hellbraune Plättchen erweisen und durch eine gewisse Mächtigkeit die dunkelbraune Färbung der Pigmentschicht bedingen. Durch Alkohol wird der Farbstoff nicht entzogen, wohl aber durch Alkalilauge, die sich entsprechend der vorhandenen Menge des Farbstoffes hell- bis dunkelbraun färbt. Gleichzeitig war ein angenehmer, aromatischer Geruch zu konstatieren, den auch P. Schulze bei der Auflösung gewisser Bestandteile der Käferflügeldecken wahrgenommen hat. Behandelt man eine isolierte Pigmentschicht längere Zeit in der Wärme mit Alkalilauge, so tritt außer der Entpigmentierung



Fig. 11.
Aufsicht auf das Pronotum von Gryllotalpa vulgaris L. Körnelung. (*P*) Sekretporen. Vergr. 500.

eine merkliche Lösung nicht ein. Der Chitosanprobe ($J + H_2SO_4$) unterworfen, ergibt eine starke Violettfärbung mithin den Beweis, daß die Pigmentschicht aus Chitin besteht.

Bei mittlerer Vergrößerung (300fach) erscheint die ganze Pigmentschicht grob gekörnelt (Fig. 11). Diese Erscheinung wird durch rundliche Körperchen hervorgerufen, die bei verschiedener Einstellung des Mikroskopes bald glashell und stark lichtbrechend, bald dunkel erscheinen. Sie sind in einer homogenen, braunpigmentierten Grundsubstanz eingebettet und bestehen ihrem optischen Verhalten nach aus einer anderen Masse als die umgebende Materie. Die Pigmentschicht ist völlig mit diesen Körnchen durchsetzt, deren Seitenkanten nicht einander anliegen, sondern durch eine breite

Zone der Grundsubstanz getrennt sind. Ich will vorweg nehmen, daß sich diese Erscheinung nicht allein auf die Pigmentlage beschränkt, sondern daß auch große Teile der äußeren und inneren Hauptlage ähnliche Strukturen aufweisen. Doch läßt sich im allgemeinen sagen, daß sich in den tieferen Schichten (besonders in den ausgesprochen fibrillären) diese rundlichen Gebilde spärlicher und in bestimmter Anordnung finden oder nachweisen lassen, die in der Pigmentlage dichtgedrängt liegen.

Eine Wabenstruktur anzunehmen, halte ich wegen der Dickwandigkeit und des optisch sich völlig anders verhaltenden Inhaltes der vermeintlichen „Waben“ nicht für richtig. Färbt man entpigmentierte Bruchstücke mit Eosin, so bleibt der Inhalt der Körperchen im Gegensatz zu der Grundsubstanz ungefärbt.

Auch die Pigmentlage von Potamobius astacus L. (Fig. 3) zeigt bei Aufsicht ein ähnliches grob gekörneltes Aussehen. Ich habe es dort als die Querschnittsbilder der Porenkanälchen angesprochen. Es liegt nahe, den Körnchen der Pigmentlage von Gryllotalpa eine gleiche Deutung zu geben, zumal Fig. 12 (Querschnitt durch Pigmentlage der Mandibel) damit wohl in Einklang zu bringen ist. Wir sehen, daß die Pigmentlage sich aufbaut aus fast senkrecht zur Oberfläche stehenden Stäben, die durch eine Zwischenmasse getrennt sind. Bei Aufsicht würde sich dann das oben beschriebene Bild ergeben.

Bei neueren Untersuchungen[1] über Metallfarben bei Käfern sind mir nun ähnliche Bildungen zu Gesicht gekommen. In der Sekretlage der Buprestiden sind Körnchen in einer homogenen Grundmasse eingebettet, die bei Oberflächenansicht die gleichen Bilder geben wie bei Potamobius und Gryllotalpa. Doch bilden sich Sekretlage der Käfer und Pigmentschicht von Gryll. u. Pot. so verschieden — erstere durch Sekretion gewisser Drüsen, letztere durch Plasmaumbildung —, daß Ähnlichkeiten in der Struktur keineswegs den gleichen Bau bedingen.

An manchen Teilen der Cuticula, die eine große Beanspruchung durch Druck und Zug von Muskeln erfahren, wie am Femur tritt eine Streifung, rechtwinklig zur Oberfläche verlaufend, auf. Wir sehen solche Fasern in einer dunkleren Substanz eingebettet. In den Mandibeln tritt die Querstreifung der Pigmentlage besonders schön in Erscheinung, da diese aus fast rechtwinklig zur Oberfläche verlaufenden Fasern aufgebaut ist (Fig. 12).

Oben wurde bereits beschrieben, daß bei Squilla die Querschnitte der Porenkanälchen oft in Komplexen zusammenstehen, die dem Inhalt einer

---

[1] W. Haß. Über Metallfarben bei Buprestiden. *Sitzber. d. Ges. naturf. Freunde.* Berlin 1916. Nr. 9.

Chitinogenzelle entsprechen. Da die Interstitien der Zellen in Form breiter, stärker lichtbrechender Ränder von Öffnungen freibleiben, fallen diese Bildungen dem Beobachter stark ins Auge.

Auch bei Gryllotalpa finden sich ähnliche Anordnungen. Die Zellen erscheinen im unteren Teile der Pigmentlage (im Gegensatz zur Oberfläche) nicht mehr erhaben, sondern bilden eine Struktur im Chitin. Wir sehen nun, daß die Querschnitte der Fasern seltener zu Komplexen zusammentreten, sondern kontinuierlich die Ränder und den Inhalt der polygonalen Felder durchsetzen. Bisweilen stehen die Kanälchen in Halbkreisen dicht beieinander. Doch folgen sich die Kreisbögen nicht unmittelbar, sondern

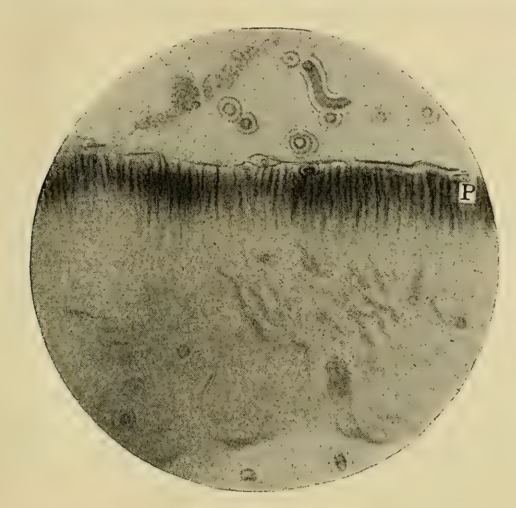


Fig. 12.
Querschnitt durch die Mandibel von Gryllotalpa vulgaris L.
Fibrillen rechtwinklig zur Oberfläche der Pigmentlage (*P*) verlaufend.
Schichtung der Hauptlage parallel der Oberfläche. Vergr. 900.

lassen so viel Spielraum zwischen sich, wie die andere Hälfte des Kreises beansprucht. Auf der Peripherie stehen die Querschnitte dicht gedrängt, während der Inhalt nur vereinzelte Poren aufweist. Jeder Kreis entspricht dem Umfange einer Zelle, so daß also auch hier Beziehungen zwischen den Zellen und den Porenkanälchen bestehen.

Biedermann sprach die Vermutung aus, daß die vermeintlichen Porenkanälchen einen Weg darstellten, um den Panzer frisch gehäuteter Krebse mit Kalk zu inkrustieren. Durch sorgfältige Untersuchungen der Cuticula von Gryllotalpa habe ich festgestellt, daß hier das Chitin völlig kalkfrei ist. Die Reaktionen fielen auch bei reichlicher Materialverwendung stets negativ aus. Behandelt man z. B. das Pronotum mit Salzsäure, so

erfolgt eine scheinbare Gasentwicklung, die aber durch in der dichten Behaarung zurückgehaltene Luftbläschen verursacht wird. Kocht man die zu behandelnden Teile vorher in Wasser auf, so unterbleibt die Gasentwicklung.

Da nun auch in der völlig kalkfreien Cuticula von Gryllotalpa in gleicher Ausbildung Porenkanälchen vorhanden sind, so werden diese wahrscheinlich eine Funktion zu erfüllen haben, die in beiden Fällen dieselbe ist. Es handelt sich m. E. nicht um blutleitende Bahnen, sondern um Vertikalstützen.

Was nun die Bildung der Pigmentlage betrifft, so besteht kein Zweifel, daß sie ein Plasmaumbildungsprodukt und nicht ein Sekret besonderer Drüsen darstellt. P. Schulze konnte allerdings nachweisen, daß bei manchen Coleopteren (z. B. Cicindelen) an Stelle der Pigmentlage eine in Alkalilauge leicht lösliche Schicht vorhanden ist, die ein Drüsensekret darstellt (s. auch meine Arbeit über das Sekretrelief der Brachyceriden).

Vor allem spricht die Tatsache, daß die Pigmentlage aus Chitin besteht, gegen die Annahme, daß sie ein Sekret darstellt. Die Art der Verfestigung der Haare und die feinere Struktur der Lage selbst kann wohl schwerlich in einer Sekretmasse gebildet werden. Schließlich ist noch anzuführen, daß senkrechte Kanäle mit besonderer Wandung (nicht zu verwechseln mit den sog. Porenkanälchen) durch sie hindurchgehen, die an der Oberfläche münden und wahrscheinlich Sekretgänge darstellen, deren Tätigkeit in der Ausbildung des Grenzsaumes bestehen dürfte (Fig. 11). Wäre die Pigmentlage selbst ein Sekret, so würden in ihr als einer ursprünglich flüssigen Masse keine typischen Kanäle bestehen bleiben können, was wiederum die Entstehung der Grenzmembran verhindern würde.

Halten wir also fest, daß die Pigmentlage aus Chitin besteht und ein Plasmaumbildungsprodukt der Chitinbildungszellen darstellt. Charakteristisch ist das Vorhandensein von Querfasern in einer homogenen Grundmasse, während eine lamellöse Schichtung nicht zu erkennen ist. Von nebensächlicher Bedeutung ist eine mehr oder weniger deutliche polygonale Felderung. Es ist weder eine wabige noch horizontal-fibrilläre Struktur nachzuweisen.

Schließlich ist noch der Grenzsaum zu besprechen. Am besten kann man ihn an genau senkrechten Schnitten beobachten, wo er sich als ein aus feinen Stäbchen bestehender, stark lichtbrechender Saum abhebt. Der Grenzsaum macht im Querschnitt den Eindruck eines Alveolarsaumes, da er sich aus zahlreichen, schmalen Prismen zusammensetzt, deren Anordnung ungefähr der Lage der Querfibrillen in der Pigmentschicht entspricht. Über den Prismen habe ich keine Pellicula feststellen können, wie sie nach Bütschli bisweilen die ähnlich gebaute Grenzmembran der

Crustaceenpanzer abschließen soll. Auch bei Coleopteren hat P. Schulze über dem sog. „Alveolarsaum", der aber mehr der Außenlage der Crustaceen entspricht und bei Gryllotalpa kein Analogon hat, eine strukturlose Grenzmembran beschrieben, die ein Sekret darstellt.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Pigmentlage von radiären Kanälchen durchsetzt wird, die an der Oberfläche münden. Diese Tatsache scheint mir besonders in Hinsicht auf die ganz ähnlichen Verhältnisse bei Coleopteren dafür zu sprechen, daß die Grenzmembran ein Sekret darstellt, das durch die erwähnten Kanäle aus besonderen, der Hypodermis entstammenden Drüsen (E. Krüger) aufsteigt und sich, über die Pigmentlage ausbreitend, alle ihre Strukturen nachbildet. Mit Kalilauge behandelte Objekte ließen auf Schnitten stets die Grenzmembran vermissen, die sich wahrscheinlich in der Lauge gelöst hatte. Auch P. Schulze gibt an, daß der Grenzsaum der Coleopteren in Alkalilauge löslich ist. Behandelt man die isolierte Pigmentlage von Gryllotalpa mit konz. Salzsäure, so bleibt nur ein feines Häutchen zurück, das wahrscheinlich den ungelösten Grenzsaum darstellt.

Erwähnen möchte ich noch, daß, wenn Zellumrisse vorhanden sind, die Mündungen der Poren niemals im Innern, sondern stets in den Ecken, wo mehrere Felder zusammenstoßen, zu finden sind.

Wenden wir uns nun zu der Betrachtung der wichtigsten Bestandteile der Cuticula, zu den Hauptlagen. Es wurde bereits erwähnt, daß man nach der Struktur eine äußere und eine innere Lage unterscheiden kann, deren Unterschiede jedoch nicht prinzipieller Natur sind.

Die äußere Hauptlage.

Sie macht auf Schnitten den Eindruck einer homogenen, hyalinen Substanz, deren Dicke in den einzelnen Teilen der Cuticula sehr verschieden sein kann. Im Pronotum beträgt sie über ein Drittel, in den Tergiten fast die ganze Dicke der Chitinbekleidung. An den Beinen, Mundwerkzeugen und Kopf tritt sie sehr zugunsten der inneren Lage zurück. Nicht ganz einfach ist es, die feine, lamellöse Schichtung nachzuweisen, die jedoch besonders im Lumen der an die Haare herantretenden Kanäle und an Bruchstücken deutlich sichtbar ist. Die Zahl der Lamellen ist sehr groß; die Dicke dagegen sehr gering, so daß es nicht gelingt, einzelne Lamellen zu isolieren.

Die Gruben für die Haare werden normalerweise von dieser Schicht gebildet, doch können bei starker Reduktion die inneren Lagen diese Funktion übernehmen (wie in den Schaufelflächen der Grabfüße).

An Flächenpräparaten kann man öfters Umrisse von Zellen beobachten, zwischen denen niemals Haargruben oder zuführende Kanäle zu finden sind.

Diesen Zellkonturen entsprechen die haarfreien Stellen der Pigmentlage. Zwischen den Haargruben oder Kanälchen habe ich in der äußeren wie inneren Hauptlage niemals eine Felderung gesehen, die also auf die Pigmentlage beschränkt bleibt. Auch in anderer Beziehung zeichnen sich die gefelderten Komplexe vor dem übrigen Chitin aus. Niemals wird man in solchen Bezirken die typische, fibrilläre Struktur der Cuticula nachweisen können.

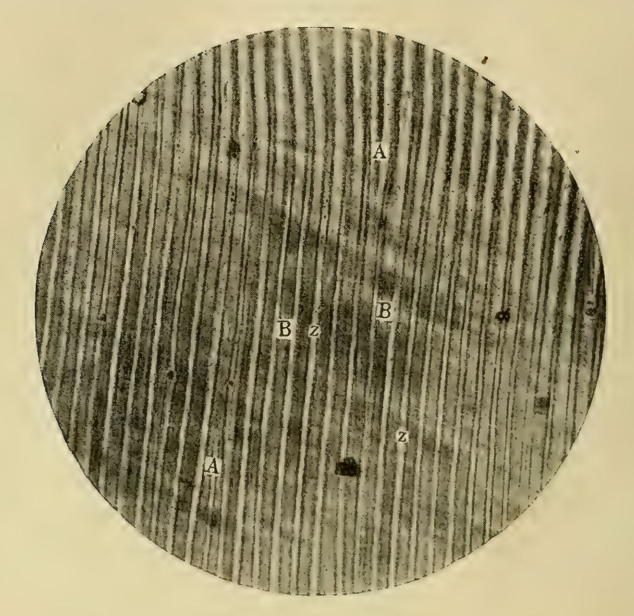


Fig. 13.
Flächenpräparat aus dem Pronotum von Decticus verrucivorus L. (*B*) Balken und Zwischensubstanz (*z*) in regelmäßiger Ausbildung. (*A*) Anastomosen der Balken. Vergr. 860.

Das Chitin erscheint fast homogen. Ich verweise auf die ähnlichen Beobachtungen bei Crustaceen.

Die oberen Lamellen (untersucht am Pronotum) zeichnen sich ähnlich der Pigmentlage durch eine weitstehende Körnelung aus, die auf die oben beschriebenen Querschnitte von Querfasern zurückzuführen ist. Erst die unteren Lamellen der äußeren Hauptlage zeigen die typischen, fibrillären Strukturen. Ich schließe gleich die Beschreibung der inneren Hauptlage an, die den wichtigsten Bestandteil der Cuticula bildet. Am besten eignen sich zur Untersuchung Teile von den Grabfüßen, da hier die äußere Hauptlage auf ein Minimum beschränkt und die fibrilläre Struktur der Lamellen in vollendetster Weise ausgebildet ist.

Die innere Hauptlage.

Die Lamellen zeigen in Flächenaufsicht eine feine Streifung, die, wie bei den Crustaceen, durch Fasern hervorgerufen wird. Die Fasern oder Balken liegen nicht lose nebeneinander, sondern sind durch eine glashelle, homogene Zwischensubstanz verbunden. Die Balken sind selbst wiederum fein gestreift, was auf eine Zusammensetzung aus feinsten Fibrillen zurückzuführen ist (Fig. 13). Durch zahlreiche Anastomosen der Balken ist die Zwischensubstanz oft stark reduziert und nur in Form längerer, stark lichtbrechender Striche erkennbar (Fig. 14). Man kann sagen, je mehr das

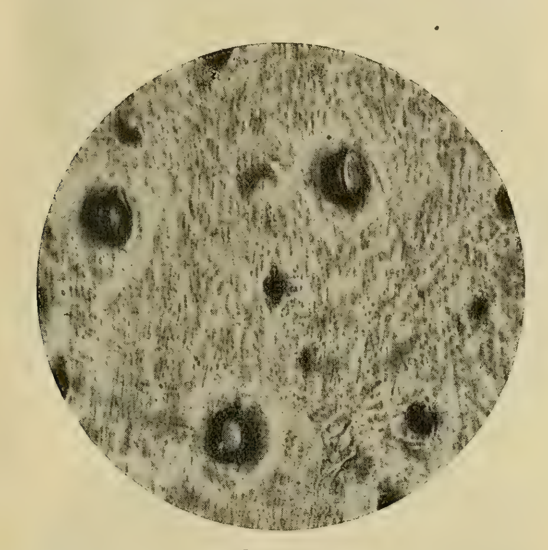


Fig. 14.
Aufsicht auf die Lamellen aus dem Grabfuß von Gryllotalpa vulgaris L. Balken mit zahlreichen Anastamosen, Zwischensubstanz reduziert, enthält die vertikal aufsteigenden Fasern (bei Crustaceen „Porenkanälchen" genannt). Vergr. 900.

Chitin beansprucht wird, um so zahlreicher die Anastomosen, so daß die Lamellen schließlich ein geflechtartiges Aussehen bekommen.

In der Zwischensubstanz treten oft rundliche, bei verschiedener Einstellung des Mikroskops helle bzw. dunkel erscheinende Gebilde auf, die die Querschnitte von Fibrillen, die rechtwinklig zur Oberfläche verlaufen, der sog. „Porenkanälchen" der Crustaceen darstellen. Gerade hier habe ich mich davon überzeugt, daß die Querschnitte nicht hohl, sondern von einer homogenen Masse erfüllt sind. Die Porenkanälchen sind wahrscheinlich Querfasern oder auch Kanälchen mit Inhalt. Ich will hier noch einfügen,

daß die Querschnitte der rechtwinklig zur Oberfläche verlaufenden Fasern der Pigmentlage auch bei stärkster Vergrößerung homogen erscheinen und



Fig. 15.
Querschnitt durch den Femur von Gryllotalpa vulgaris L.
Neben der lamellösen Schichtung Querstreifung. Vergr. 900.

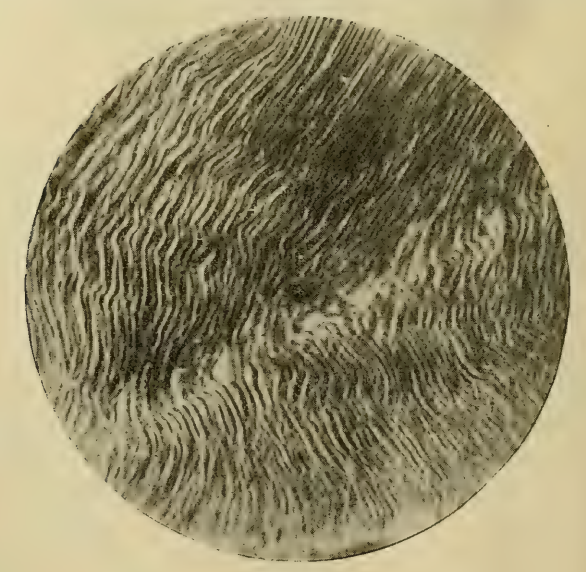


Fig. 16.
Querschnitt durch den Femur von Stethophyma fuscum Pall.
Querfasern in einer homogenen Grundmasse. Vergr. 1000.

keinerlei Struktur, wie sie Bütschli in Form eines wabigen Inhaltes mit dem Querschnitt eines feinsten, aufsteigenden Kanales in der Mitte (bei Potamob. astac. L.) und Biedermann bei Dynastes hercules L. als fibrillär aufweisen.

Querschnitte durch den Femur zeigen neben einer lamellösen Schichtung in aller Deutlichkeit Querfasern. (Fig. 15). Ja, die lamellöse Streifung kann ganz verschwinden und nur rechtwinklig zur Oberfläche verlaufende Fasern in einer homogenen, dunkleren Grundsubstanz (vielleicht der Balkensubstanz)



Fig. 17.
Querschnitt durch eine „Leiste" vom Pronotum von Stethophyma fuscum Pall. Lamellöse Schichtung. Querfibrillen fehlen vollständig. Reduktion der Lamellen zu Häutchen, deren Balken senkrecht zur Längsachse der Leiste laufen würden. Vergr. 600.

zurückbleiben (Fig. 16). Andererseits können die aufsteigenden Fasern völlig schwinden und nur eine lamellöse Schichtung vorhanden sein (Fig. 17). Ganz verständlich ist mir das völlige Fehlen der Faserquerschnitte in manchen Teilen der Cuticula nicht, das meist dann der Fall ist, wenn die Balken und Zwischensubstanz in ganz regelmäßiger Anordnung vorhanden sind (Fig. 13). Auch in gewissen Leisten (Gesamterhebungen der Lamellen) des Pronotums anderer Saltatorien finden wir dieselbe Erscheinung.

Die Querfasern dienen offenbar zur weiteren Versteifung der Cuticula. Da nun regelmäßige Chitinstrukturen (also konstanter Wechsel von Zwischen-

substanz und Balken) an solchen Stellen auftreten, die keine große Beanspruchung zu erleiden haben, so sind dann weitere Stützen in Form von rechtwinklig zur Oberfläche verlaufenden Fasern entbehrlich. Auch in den erwähnten Querleisten erlangt das Chitin genügende Festigkeit ohne quere Stützen bereits durch eine kolossale Verdickung der Lamellen. Ja, es werden nicht einmal die gewöhnlichen Mittel zum festen Zusammenhalt — der wechselnde Verlauf der Balken in übereinanderliegenden Lamellen — herangezogen. In den Querleisten verfolgen alle Balken die gleiche Richtung, was durch eine Reduktion aller Faser (und auch der Lamellen zu feinen Häutchen), die in anderer Richtung zogen, erreicht wird.

Nach Biedermann sollten die Querschnitte der Porenkanälchen die Trennungen der Balken bewirken. Ich betone, daß die Querfasern (identisch den Porenkanälchen) sich nur in der rechtwinklig zur Oberfläche verlaufenden Richtung strukturbildend beteiligen, dagegen parallel keinen Einfluß auf die Gliederung der Lamellen selbst haben. Ich unterscheide also als Strukturelemente erster Ordnung Fibrillen, die sich zu weiteren Einheiten (zweiter Ordnung), den Balken, zusammenschließen mit der dazu gehörigen Zwischensubstanz, die eine Kittmasse darstellen dürfte, gegenüber den Querfasern.

Ich habe verschiedene Chitinteile anderer Saltatorien (von Decticus verrucivorus L. und Stethophyma fuscum Pall.) zur Untersuchung herangezogen, die die geschilderten Strukturen besonders deutlich zeigen. Präparate von Gryllotalpa eigneten sich in diesen wenigen Fällen nicht sehr zur Untersuchung. Prinzipielle Unterschiede irgendwelcher Art sind bei diesen verwandten Formen nicht vorhanden.

Noch bleibt mir übrig, auf gewisse Bauverhältnisse aufmerksam zu machen, die stets eine stark fibrilläre Struktur vortäuschen. Oben wurde bereits auf Leisten hingewiesen, die sich auf den Pronota von Acridiidiern und Locustiden befinden und solide Erhebungen des Chitins darstellen. Die Lamellen biegen aus ihrer Richtung parallel der Oberfläche dorsad ab, erreichen einen Höhepunkt und verlaufen in einer gleichen schroffen Abwärtsbiegung wieder in die Horizontale zurück. Dazu bemerke ich, daß durch die Aufwölbung kein Hohlraum erzeugt wird, sondern durch Verdickung der einzelnen Lamellen die entstehende Lücke ausgefüllt wird. Die Lamellen werden also äußerst fest und dick. Eine ganz ähnliche Bildung findet sich bei gewissen Coleopteren. Ich habe bei Brachyceriden nachgewiesen, daß die wesentlichsten Bestandteile der Elytrenskulptur, die Tuberkeln und Granulae, in gleicher Weise wie die Leisten der Locustiden usw. angelegt sind.

Betrachtet man sich nun die dorsad abbiegenden Lamellen von oben, so entsteht zu beiden Seiten des Walles ein Gewirr von anscheinenden Fasern.

Es beteiligen sich daran weniger die echten Fasern der unteren, flacher verlaufenden Lamellen, als besonders die als Striche erscheinenden Grenzflächen der oberen, fast senkrecht aufsteigenden Lamellen. Oft sind die Balken der leistenbildenden Lamellen wenig entwickelt, so wird dennoch durch die auf- und absteigenden Schichten eine anscheinend stark fibrilläre Struktur erzeugt, die daher nicht als echt, sondern als Täuschung aufzufassen ist. An den frei hervorstehenden Rändern der Pronota sind ähnliche, fibrilläre Strukturen vortäuschende, ovale Gebilde vorhanden, die im Prinzip des Baues den Leisten gleich, in der Funktion sehr verschieden sind. Es handelt sich um die sog. Säulchen, die noch besprochen werden sollen.

Über den Balkenverlauf in den einzelnen Lamellen ist zu sagen, daß im allgemeinen die einmal eingeschlagene Richtung innegehalten wird. Die Richtungen der Balken zweier aufeinanderfolgenden Lamellen sind meist rechtwinklig zueinander, doch kommen auch Kreuzungen unter kleineren Winkeln vor. So läßt sich an Flächenpräparaten mehrerer zusammenhängender Lamellen eine Kreuzstreifigkeit unter verschiedenen, spitzen und rechten Winkeln beobachten. Die Regel ist jedenfalls eine Verlaufsänderung um 90°. Damit stimmen auch die Querschnittsbilder überein, die abwechselnd helle und dunkle Schichten aufweisen. Die letzteren erscheinen glatt, an günstigen Präparaten fein parallel der Oberfläche gestreift. Es sind die Anschnitte der Lamellen, in denen die Balken parallel zur Schnittrichtung laufen und durch ihre Zusammensetzung aus Fibrillen die Streifung parallel der Oberfläche hervorrufen. Sind die Balken senkrecht getroffen, so werden sie in geringen Abständen voneinander, die mit Zwischensubstanz angefüllt sind, in ungefähr rechteckiger Form zu erkennen seien. Ein Faseraustausch zwischen benachbarten Lamellen findet mit aller Bestimmtheit nicht statt.

Gegen die Hypodermis nehmen die Lamellen der inneren Hauptlage an Dicke ab, ohne ihre Struktur zu ändern. Es liegt kein zwingender Grund vor, diese Erscheinung, wie es u. a. Bütschli bei Crustaceen getan hat, mit einem besonderen Namen zu belegen. Als innere Begrenzung der Cuticula kann man oft einen feinen, strukturlosen Saum beobachten, der sich mit Hämatoxylin stark färbt und selbst bisweilen eine gelbliche Eigenfarbe besitzt.

Die Lamellen beschreiben in ihrer Gesamtheit oft flache Wellenlinien, was sicherlich als eine Art Verzahnung einen noch größeren Zusammenhalt gewährt.

Oben wurde bereits erwähnt, daß die frei hervorstehenden, rostralen und kaudalen Ränder des Pronotums einen besonderen Bau aufweisen. Bei Gryllotalpa handelt es sich nur um schmale Partien des Vorder- und Hinterrandes, während bei Decticus und Stethophyma die Ränder weit hervorragen, die ich daher für die Untersuchung bevorzugt habe.

Betrachtet man das Pronotum von Stethophyma in Flächenaufsicht bei schwacher Vergrößerung, so fallen in einer gelbbraunen Grundsubstanz zahlreiche ovale, konzentrisch geschichtete, glashelle Gebilde auf, die dem Vorderrande ein eigentümlich strukturiertes Aussehen verleihen. Bei Dec-

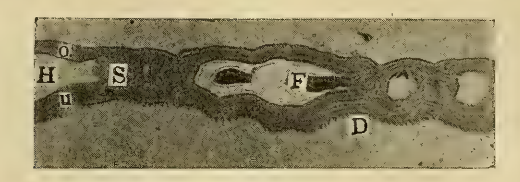


Fig. 18.
Querschnitt durch die Vorderwand des Pronotums von Stethophyma fuscum Pall. (*o*) obere, (*u*) untere lamellöse Schicht. (*S*) Säulchen. (*H*) interkolumnärer Hohlraum mit (*F*) fettartigem Gewebe. (*D*) Dörnchen. Vergr. 750.

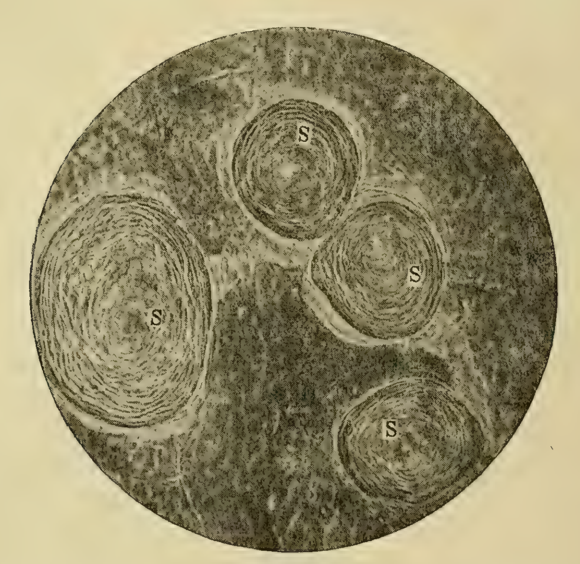


Fig. 19.
(*S*) Säulchen aus dem Vorderrande des Pronotums von Stethophyma fuscum Pall. Vergr. 700.

ticus sind die stärkekornähnlichen Gebilde mehr versteckt, bei Gryllotalpa in dorsaler Aufsicht völlig unsichtbar (Fig. 19).

Querschnitte (Fig. 18) belehren uns sofort, daß es sich um stützende Gebilde handelt, die als solche bei Coleopteren schon vielfach beschrieben und von P. Schulze als Säulchen oder Columnae bezeichnet worden sind.

Die frei hervorstehenden Ränder des Pronotums bilden keine einheitliche, solide Cuticula mehr, sondern bestehen aus zwei wiederum lamellösen Decken, die, einen Hohlraum umschließend, durch dorso-ventral verlaufende, schmale Brücken (Columnae) miteinander in Verbindung stehen. Die Columnae dienen zur Stütze der dorsalen Decke und bilden vermöge ihrer Konstruktion ideale T-Träger. Jede Decke besteht aus mehr oder weniger zahlreichen Lamellen, die trichterartig von der dorsalen durch die Querbrücken in die ventrale Schicht gehen und somit die besten Verfestigungen und Stützen herstellen, da Decken wie Träger nahtlos sind und aus solidem Material bestehen. Die unterste Schicht der ventralen Decke ist durch zahlreiche Anhänge in Form von Dörnchen ausgezeichnet, die ihr (bei Coleopteren) den Namen „Dornenschicht" eingetragen haben. Nach E. Krüger entspricht jeder Dorn einer Hypodermiszelle.

Die Säulchen liegen in unregelmäßigen Abständen voneinander entfernt, so daß auf Querschnitten die Ausdehnung der interkolumnären Hohlräume sehr verschieden sein kann (Fig. 18).

Der Durchmesser der Säulchen ist meist geringer als sich auf der Oberfläche an umbiegenden Lamellen markiert. Die Lamellen biegen sich oft nur ein wenig ein, ohne den Anschluß an die ventrale Decke zu erreichen. So kommen Zapfen zustande, die in den Hohlraum hineinragen. Verfolgt man auf Serienschnitten den Verlauf des Zapfens, so erkennt man, daß dann die Einstülpung in schräger Richtung zur ventralen Schicht erfolgt. Es ist mir keine Einwölbung zu Gesicht gekommen, die nicht schließlich eine Verbindung der beiden Decken hergestellt hätte. Bei dorsaler Aufsicht macht sich dieses Verhalten oft durch die ovale und langgestreckte Gestalt der „Säulchen" bemerkbar.

Die interkolumnären Hohlräume sind mit einer hellbraunen, nach Behandlung mit Alkohol kollabierten und entfärbten Substanz erfüllt, die sich mit Pikrinsäure intensiv gelb färbt. Die fettartige Substanz liegt natürlich um den Schaft der Säulchen herum, die in der Aufsicht als glashelle Fenster in einer gelbbraunen Substanz erscheinen (vgl. die Angaben von Graber). Bei Gryllotalpa sind die Columnae dem Auge entzogen, da die darüberliegende, stark gefärbte Pigmentlage sie verdeckt. Zieht man aber mit Alkalilauge das Pigment aus, so erscheinen auch die konzentrisch geschichteten Säulchen.

Über die Entstehung der Säulchen bei Coleopteren (Crioceris asparagi Lin.) berichtet E. Krüger[1], daß aus den Imaginalscheiben ein hohler Schlauch

---

[1] E. Krüger, Über die Entwicklung der Flügel der Insekten mit bes. Berücksichtigung der Deckflügel der Käfer. *Inaug. Diss.* Phil. Fak. Göttingen 1898.

hervorwächst, dessen Wandungen von den Hypodermiszellen gebildet werden. Es wachsen die gegenüberliegenden Wände einander entgegen und verschmelzen an den basalen Enden unter Bildung einer Membran. Später wird das Gewebe durch Vakuolisierung aufgelockert. Die Zellen ziehen sich zusammen und führen eine neue Trennung der Wandungen herbei, die jedoch durch Zellfäden mit der Membran in Verbindung bleiben. An denjenigen Stellen, wo die Säulchen entstehen, erfolgt eine schmale, tiefe Einsenkung der Hypodermis bis in die Nähe und schließlich bis zur Verschmelzung mit der ventralen Zelllage. Erfolgt nun die Ausscheidung des Plasmas, so werden die Gruben von den auskleidenden Hypodermiszellen bis zu einer gewissen Höhe mit Chitin ausgefüllt und die Verbindung (Columnae) der dorsalen und ventralen Decke herbeigeführt. Da die Gruben nicht völlig wieder geschlossen werden, bleiben flache Einsenkungen (Patinae) bestehen. Solche Einsenkungen bedingen bei Stethophyma und Decticus die rauhe Oberfläche der Vorderränder der Pronota, die bei Gryllotalpa völlig glatt sind.

Wir sehen auf Querschnitten, daß bei Gryllotalpa die Pigmentlage gleichmäßig über die Säulchen hinwegzieht, während bei gewissen Coleopteren (Lucanus cervus L.) die eine der Pigmentlage ähnliche Bildung vorstellende Lackschicht die Achse der Columnae bildet. Die Erscheinung bei Gryllotalpa ist nur so zu erklären, daß die Abscheidung der Pigmentlage bereits beendet ist, bevor die Einsenkung der Hypodermiszellen zu jenen engen Schächten vor sich geht. Wir sahen ja auch bei Crustaceen, daß die Bildung der Pigmentlage gegenüber der Hauptlage zwei verschiedenen Phasen angehörte.

Einer eigentümlichen Bildung auf der Oberfläche der dorsalen Decke von Decticus verrucivorus L. möchte ich noch Erwähnung tun. Neben den Säulchen stehen oft Zapfen, die durch ein dorsales Ausbiegen der obersten Lamellen gebildet werden. Der Zweck der Zapfen ist mir gänzlich unbekannt geblieben.

Die Vorderflügel der Käfer und die freien Halsschildränder der Saltatorien stimmen in ihrem histologischen Bau genau überein, der durch die Ausbildung von Säulchen ein typisches Gepräge erhalten hat. Es war nun von Interesse, festzustellen, ob alle chitinisierten Hautfalten durch Säulchen gestützt werden, oder ob diese Erscheinung auf Ausstülpungen der Brustsegmente beschränkt ist.

Das Labium, eine Hautfalte der Kopfkapsel, hat keine inneren Stützen und der umschlossene Hohlraum ist völlig von Geweben erfüllt. Den gleichen Bau zeigen die den Ovopositor der Weibchen der Locustiden usw. zusammensetzenden Chitinröhrchen.

Es läßt sich daraus schließen, daß die Ausbildung von Säulchen für die Hautfalten der Brustsegmente charakteristisch sind. Nach Graber[1] sind nun die „Halsschildseitenlappen" der Heuschrecken und Käfer (denn auch hier sind solche vorhanden) als Homologa der wirklichen Flügel zu betrachten. E. Krüger vermutet, daß alle drei thorakalen Anhänge der Käfer Hinterflügel, Elytren und Halsschildlappen als homodynam zu betrachten und danach letztere die Vorstufe eines dritten Flügelpaares wären.

Ich habe nun noch einige Strukturen zu beschreiben, die zwar auch bei Gryllotalpa, aber in geringerem Maße ausgebildet sind und der Untersuchung dadurch große Schwierigkeiten bereiten. Ein besseres Objekt bot sich in der verwandten Gruppe der Grylliden, von denen Liogryllus campestris L. und einige nicht bestimmte Formen aus Sumatra zur Präparation herangezogen wurden. Ich möchte nochmals hervorheben, daß es sich nicht um Unterschiede in der Struktur, die bei beiden Gattungen in gleicher Weise vorhanden ist, sondern um den Grad ihrer Ausbildung handelt.

Ich brauche nicht auf den Bau der Pigment- und Hauptlage, nicht auf die Eigentümlichkeiten des Pronotums einzugehen, da wir dies alles bei Gryllotalpa bereits kennen gelernt haben.



Fig. 20.
(*D*) Dornen auf den Pleuren von Gryllus campestris L. in Aufsicht auf die Fläche. Körnelung. Vergr. 1300.

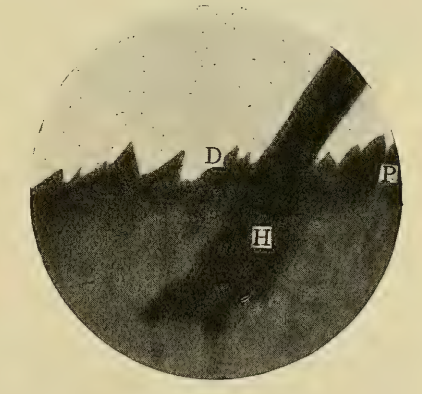


Fig. 21.
Querschnitt durch die Pleura von Gryllus campestris L. (*D*) Die Dornen werden von der Pigmentlage (*P*) gebildet. Hauptlage vertikal gestreift. (*H*) Haar. Vergr. 1500.

Merkwürdige Auswüchse finden sich auf den Tergiten (Fig. 22). Auf niedrigen, kurzen Leisten stehen zu zweien und dreien angeordnet dicke

[1] Graber, Fortgesetzte Untersuchungen über die nachembryonale Entwicklung u. d. Cuticula d. Geradflügler. *I. Progr. d. k. k. 2. Staatsgymnasiums in Graz.* 1870.

Spitzen, die von der Pigmentlage gebildet werden. Um Haarbildungen handelt es sich nicht, mehr kann ich davon nicht berichten.

Auch die Pleuren sind auf der Oberfläche mit zahlreichen, dicken Dornen von ungefähr dreieckiger Form (die Seiten sind etwas eingebogen) versehen (Fig. 20). Im Querschnitt erscheinen sie als spitze Auswüchse der Pigmentlage (Fig. 21). Ferner zeigt das Chitin eine Streifung, die rechtwinklig zur Oberfläche gerichtet ist.

Präpariert man die gesamte dorsale Chitinbekleidung des Abdomens heraus, so erhält man eine zusammenhängende Platte, die Tergite mit ihren Kommunikationen. Diese Verbindung wird durch Häutchen herbeigeführt,

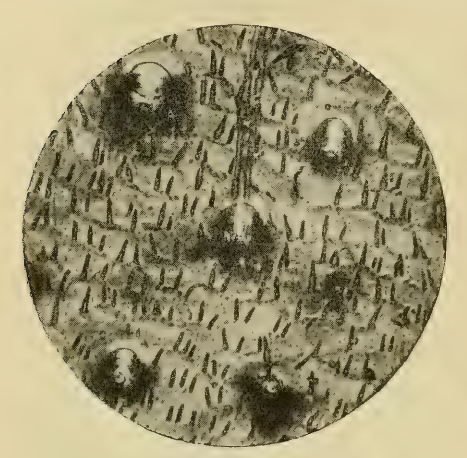


Fig. 22.
Tergit von Liogryllus campestris L.
Stäbchen auf kurzen Leisten.
„Körnelung“ der Pigmentlage vorhanden.
Vergr. 1000.

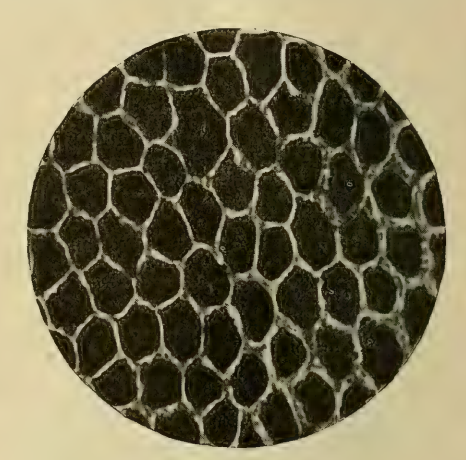


Fig. 23.
Liogryllus campestris L.
Aufsicht auf die Intersegmentalhaut.
Röhrenwerk. Vergr. 800.

die normalerweise viel zu weit und daher unter den kaudalen Rand jedes Tergits in einer Falte untergeschlagen sind. Erweitert sich das Abdomen durch Nahrungsaufnahme oder Entwicklung der Geschlechtsprodukte — einen extremen Fall bilden die trächtigen Weibchen von Termiten —, so kann das Integument vermöge der Faltung nachgeben. Der Bau dieser sog. „Intersegmentalhaut“ ist nun sehr eigentümlich.

P. Schulze beschrieb bereits von Lepidopterenpuppen, „daß auf der Lackschicht ein zierliches Netzwerk von hell gefärbten, im Leben mit einer Flüssigkeit gefüllten Hohlröhren sich findet. Nach dem Schlüpfen des Falters dringt Luft in die Kanäle ein. Die physiologische Bedeutung dieser Bildungen müßte erst noch ermittelt werden, vielleicht haben sie etwas mit

der Atmung zu tun." Auch Plotnikow[1] hat die Intersegmentalhäute bereits untersucht und Querschnitte angefertigt, die aber nicht richtig gedeutet und durch Fortlassung der wichtigsten, zwar sehr feinen Bestandteile auch falsch gezeichnet sind.

An den ausgebreiteten Intersegmentalhäutchen können wir zwei Abschnitte, einen glashellen, anscheinend fibrillären und einen durch dunkle Felder ausgezeichneten unterscheiden. Die helle Membran besteht aus feinen, gerade noch erkennbaren Lamellen. Die Pigmentlage fehlt vollständig, die auf den Tergiten in ziemlich dicker Schicht vorhanden ist. Man kann den Übergang zum Häutchen leicht verfolgen, da die Pigmentlage

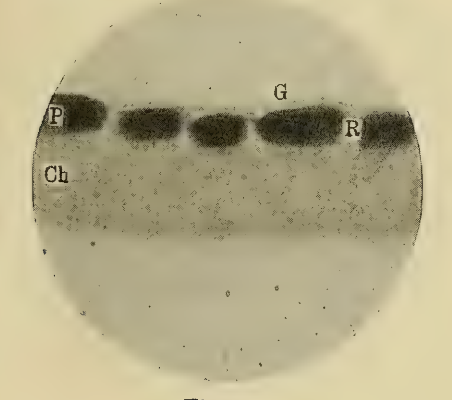


Fig. 24.

Liogryllus campestris L. Querschnitt durch die Intersegmentalhaut. (*G*) Die Grenzmembran bildet Hohlröhrchen (*R*) in den Zwischenräumen der Pigmentlage (*P*). (*Ch*) Hauptlage schwach lamellös geschichtet. Vergr. 1200.

schwächer und schwächer wird und schließlich schwindet. Die anscheinend fibrilläre Struktur wird durch zahlreiche Falten hervorgerufen, die mit der Funktion der Membran in Zusammenhang stehen. Sie bildet nämlich die Knickstellen der Intersegmentalhaut. Daher fehlt vielleicht auch die Pigmentlage, die durch ihre queren Stützen ein Hindernis bilden würde.

Bei der Betrachtung der gefelderten Partie (Fig. 23) geben uns Querschnitte die nötige Aufklärung (Fig. 24). Die Pigmentlage ist in kräftiger Ausbildung vorhanden, doch überzieht sie nicht kontinuierlich die Hauptlagen, sondern ist durch Unterbrechungen in polygonale Bezirke geteilt. In anderen Fällen (Sphinx ligustri L.) ist die Felderung bei Flächen-

[1] Plotnikow, Über die Häutung und über einige Elemente der Haut bei den Insekten. *Ztschr. f. wiss. Zool.* Bd. LXXVI. 1904.

betrachtung wohl vorhanden, doch behält die dort vorhandene Lackschicht auf Querschnitten nicht in ihrer ganzen Höhe ihre gleiche Breite bei, sondern dringt in Form von Keilen in das Chitin ein. Die Zwischenräume sind bis auf einen geringen dorsalen Hohlraum mit Chitin angefüllt, auf dem von dem Grenzsaum gebildete Röhren liegen, die anscheinend einer selbständigen inneren Wandung entbehren. In Flächenaufsicht gewinnt man den Eindruck eines erhabenen Röhrenwerkes.

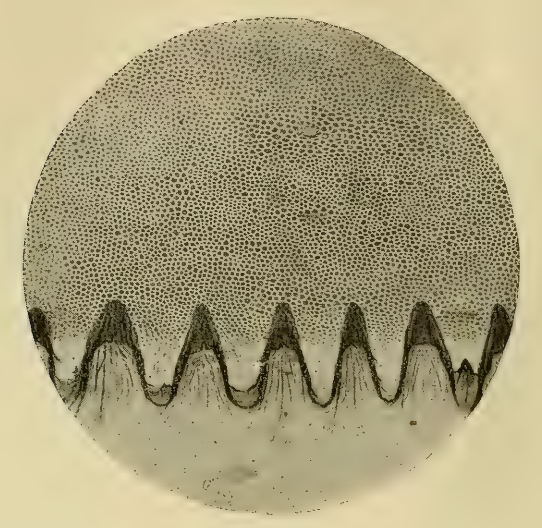


Fig. 25.
Intersegmentalhaut von Trochilium apiforme Cl. Vergr. 300.

Unterhalb des Netzwerkes war das Chitin durch nichts (weder dünner noch heller) von seiner sonstigen Beschaffenheit zu unterscheiden. P. Schulze sprach die Vermutung aus, daß die Röhren vielleicht etwas mit der Atmung zu tun haben könnten.

Allmählich werden die Röhrchen gegen die Tergite zu schmäler und schmäler, bis endlich die Pigmentlage wieder ein kontinuierliches Gebilde wird.

Bei Orientierungsarbeiten über die Intersegmentalhaut fand ich eigenartige Bildungen am Abdomen der Puppen von Trochilium apiforme Cl. Das Röhrenwerk ist nicht in jedem Intersegmentalhäutchen vorhanden, sondern wechselt mit einem homogenen Bau der Lackschicht ab. Doch stehen auf jedem Tergit eigenartige Zapfen, die auf Querschnitten als hohl erkannt werden (Fig. 25). Ob darin Organe irgendwelcher Art liegen, war an den abgestreiften Puppenhüllen nicht mehr festzustellen.

Um einen allgemeinen Überblick zu gewinnen, habe ich andere Familien der Orthopteren auf ihre prinzipiellen Strukturen hin untersucht. So weisen weitere Vertreter der Locustidae und Acridiidae, von den Phasmatidae: Bacillus rossi F., Phyllium u. Phasma sp., von den Blattidae: Stylopyga orientalis L. und Heterogamia aegyptiaca L. und schließlich von den Dermaptera: Forficula auricularia L. den gleichen fibrillären Bau der Chitinteile auf, wie es oben geschildert wurde.

Eine Zusammenfassung meiner Untersuchungen würde als wichtigstes Resultat ergeben, daß auch bei den Orthopteren eine fibrilläre Struktur des Chitins vorhanden ist.

Die Cuticula ist weder in chemischer noch morphologischer Beziehung einheitlich zusammengesetzt.

Literaturverzeichnis.

Biedermann, W., a) Geformte Sekrete. *Z. f. allg. Physiol.* II. 1903. b) in H. Winterstein, *Lehrb. d. vergl. Physiol.* Bd. II. S. 814—887.

Bütschli, O., *Untersuchungen über Strukturen.* Leipzig 1898.

Braun, M., Über die histologischen Vorgänge bei der Häutung des Flußkrebses *Arb. a. d. Zool.-Zootom. Inst. z. Würzburg.* Bd. II, 1875.

Graber, V., Fortgesetzte Unters. über die nachemrbyonale Entwicklung u. d. Cuticula d. Geradflügeler. I. *Progr. d. k. k. 2. Staatsgymnasiums in Graz.* 1870.

Hass, W., Über das Zustandekommen der Flügeldeckenskulptur einiger Brachyzeriden. *Sitzber. d. Ges. naturf. Freunde* Berlin 1914. No. 7.

Derselbe, Über Metallfarben bei Buprestiden. *Sitzber. d. naturf. Freunde.* Berlin 1916. Nr. 9.

Hasse, E., *Observationes de sceleto Astaci fluviatilis marini.* Lipsiae 1833.

Holmgren, Nils, Über das Verhalten des Chitins und Epithels zu den unterliegenden Gewebsarten d. Insekt. *Anat. Anz.* 1902.

Kapzow, S., Untersuchungen über den feineren Bau der Cuticula bei Insekten. *Ztschr. f. wiss. Zool.* XCVIII. 1911.

Krüger, E., Über die Entwicklung der Flügel der Insekten mit bes. Berücksichtigung der Deckflügel der Käfer. *Inaug.-Diss.* Phil. Fak. Göttingen 1898.

Lavalle, Recherches d'anat. microscop. sur le test des Crustacées décapodes. *Ann. de Sc. nat.* 3. Ser. T. 7. 1847.

Leydig, F., Zum feineren Bau der Arthropoden. Müllers *Arch.* 1855.

Nathusius v. Königsborn, *Untersuchungen über nicht zelluläre Organismen.* Berlin 1877.

Plotnikow, W., Über die Häutung und über einige Elemente der Haut bei den Insekten. *Zeitschr. f. wiss. Zool.* LXXVI. 1904.

Schulze, P., Chitin- u. andere Cuticularstrukturen bei Insekten. *Verhdlg. d. Deutsch. Zool. Ges. z. Bremen.* 23. Vers. 1913.

Tullberg, T., Studien über den feineren Bau und das Wachstum des Hummerpanzers und der Molluskenschalen. *Schwed. Akad. d. Wissensch.* 1881.

Vallentin, G., Über die Organisation des Hautskelettes der Crustaceen. *Repert. Anat. e. Physiol.* Bd. I. 1837.

Vitzou, A. N., Recherches sur la structure et la formation des Segments chez les Crustacées décapodes. *Arch. de Zool. experim.* T. X. 1882.

Wester, D. H., Über die Verbreitung und Lokalisation des Chitins im Tierreich. *Zool. Jahrb.* Syst. XXVIII. 1909/10.

Über die Gerste als Nährmaterial.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

Die Gerste dient in der Volksernährung zu mannigfachen Zwecken, selten ausschließlich zur Brotbereitung, öfter noch als teilweises Surrogat für Weizen- und Roggenmehl, ferner zur Herstellung von Graupen, zur Bierbereitung, Herstellung von Kaffeesurrogaten und als Viehfutter vor allem für Schweine. Die Verhältnisse haben sich im Krieg geändert, zwar wird noch viel Gerste verfüttert, aber die Verwendung zur Bierbereitung hat ab-, die für die Herstellung von Kaffeesurrogaten zugenommen. Der Nutzeffekt, der aus den Nährstoffen der Gerste gezogen wird, ist sehr ungleich, am geringsten bei der Verfütterung zur Fleisch- und Fettproduktion, erheblich größer bei der Herstellung von Brot und Graupen, wobei wechselnde Mengen Kleie abfallen, gering bei der Gewinnung von Kaffeesurrogaten, etwas größer bei der Bierbereitung, da sich anderweitig gut verwendbare Nebenprodukte ergeben.

Die älteste Verwendung der Gerste scheint nicht die zur Brotbereitung, sondern zur Herstellung einer Art von Polenta gewesen zu sein, wozu die Gerste geröstet, gemahlen und mit Wasser gekocht wurde. So war sie zuerst den Griechen, Römern und Israeliten bekannt. Im Anschluß an die früheren Untersuchungen über Weizenbrot und Roggenbrot soll zunächst der Wert und die Verdaulichkeit des reinen Gerstenbrotes untersucht werden.

a) Das Gerstenbrot.

Die Verwendung der Gerste zu Brot beschränkt sich jedenfalls heutzutage nur auf engbegrenzte Gebiete, man kennt die Eigenart des Gerstenbrotes, rasch auszutrocknen und hart zu werden. Nach Plinius wurde die Verabreichung von Gerstenbrot als eine Strafe für den römischen Soldaten angesehen.

Zu meinen Versuchen stand mir Gerste von besonderer Zubereitung zu Gebote. Nach einem patentierten Verfahren wird die Gerste so geschält, daß Frucht- und Samenschalen weggenommen und nur der Keimling mit an dem Korn haften bleibt. Hierauf läßt man das Korn etwas keimen, wodurch die Zellmembranen aufgeschlossen werden sollen, wobei das Eiweiß sehr leicht aus ihnen entfernt werden kann, röstet dann das Korn und zermahlt es. Es soll als Morgensuppe Verwendung finden, um Kaffee zu ersetzen. Auf diesen Gedanken will ich nicht weiter eingehen, der Ersatz von Genußmittlen durch andere Substanzen völlig verschiedener Natur ist eine Frage, die hier nicht erörtert werden kann. Die so vorbereitete Gerste kann aber auch zu Brot verwendet, und so besser als in Suppenform dem Genusse zugeführt werden. Die staatliche Versuchsanstalt für Getreideverwertung hat aus diesem Material Brot hergestellt. Das Gebäck ist unvollkommen, wenig porös, bleibt flach anstatt gut aufzugehen, es ist auch richtig, daß die freie Oberfläche schnell austrocknet und daß das Brot überhaupt nach mehreren Tagen sehr hart wird. Doch schmeckt es gut und bietet beim Durchkauen einen angenehmen Geschmacksreiz. Das zu harte Brot habe ich selbst zum Teil mit der Suppe verzehrt. Die Gasbildung ist recht lebhaft, der Kot fest und trocken. Soweit meine persönliche Wahrnehmung.

Über die Verdaulichkeit von Gerstenbrot ist bis jetzt meines Wissens näheres nicht festgestellt worden. Bei Kellner und Mori[1] wird summarisch nach einem Vortrag von K. Osawa in Tokio 1887 angeführt, daß von gekochter, geschälter Gerste 84·9 Prozent der Trockensubstanz und 43·3 Prozent des N verdaut, also verloren werden 15·1 Prozent bzw. 56·7 Prozent, was für entschälte Gerste ein ziemlich ungünstiges Verhältnis wäre. Doch ist aus Kellners Zitat nichts über Osawas Versuchsanordnung usw. bekannt, die Ergebnisse sind also nicht weiter zu deuten. Nach dem, was ich über die Bedeutung der Zellmembran bisher nachgewiesen habe, kann man zutreffende Vergleiche nur unter genau gleichartigen Bedingungen des Zellmembrangehaltes verschiedener Zerealien ausführen.

Ich habe mit Brot erwähnter Herstellung zwei längere Versuche mit zwei Soldaten O. und Sch., die bereits vielfach solche Experimente angestellt haben, ausgeführt. Sie lebten 6 Tage damit, genossen frei nach ihrem Sättigungsgefühl. Da inzwischen die freie Verköstigung ziemlich mangelhaft war, wurde anscheinend die Gelegenheit zur Auffütterung wahrgenommen. Neben Brot kam noch etwas Fett als Zugabe in Betracht. Den allgemeinen Verlauf der Experimente gibt nachfolgende Zusammenstellung:

[1] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XXV. S. 121.

Gerstenbrot. Schönherr.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Brot, frisch berechnet	Harn		Kot		
					ccm	g N pro Tag	Zeit	frisch	trocken
1917									
7. III.	1.	68	1210 g Brot, 60 g Fett	1210·0	1880	9·9	—	—	—
8. III.	2.		1230 „ 60 „	1230·0	2140	8·1	10h 00′ v.	400	90
9. III.	3.	66½	1070 „ — „	1085·3	2340	8·5	4 20 n.	270	65
10. III.	4.		1140 „ — „	1147·6	1520	7·4	10 30 v.	404	89
11. III.	5.	64½	1100 „ — „	1114·3	2860	8·2	3 30 n.	390	90
12. III.	6.		1100 „ 50 „	1114·4	1260	8·4	6 50 n.	329	69
13. III.	7.		—	—	—	—	11 20 v.	259	54
			Summe Brot =	6902·0			Se. Kot		457
			pro Tag =	1150·0					
			Trockensubstanz =	760·5					
			dazu Fett =	28·3					

Gerstenbrot. Oehm.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Brot, frisch berechnet	Harn		Kot		
					ccm	g N pro Tag	Zeit	frisch	trocken
1917									
7. III.	1.	71	1245 g Brot, 60 g Fett	1245·0	1530	10·4	—	—	—
8. III.	2.		1260 „ 60 „	1268·0	1820	9·7	—	—	—
9. III.	3.	70½	1230 „ 15 „	1245·9	1460	9·4	8h 00′ v.	304	84
10. III.	4.		1200 „ — „	1224·0	1400	8·1	9 00 „	420	110
11. III.	5.	70	1140 „ — „	1155·1	2690	9·3	11 00 „	120	39
12. III.	6.		1140 „ 50 „	1155·1	1160	8·2	11 00 „	247	77
13. III.	7.	70	—	—	—	—	9 00 „	120	40
			Summe Brot =	7293·0			Se. Kot		350
			pro Tag =	1216·0					
			Trockensubstanz =	804·0					
			dazu Fett pro Tag =	31·6					

Die Resultate der Analysen der Nahrung und des Kotes, der beiden Versuchspersonen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Gerstenbrot.

	In 100 Teilen trocken	Oehm 804·0 g Trockensubstanz pro Tag	Schönherr 760·5 g Trockensubstanz pro Tag
Asche	3·90	31·35	29·65
Organisches	96·10	772·7	770·9
N	1·67	13·41	12·70
Pentosan	6·51	52·34	49·50
Zellmembran	5·79	46·54	44·02
Pentosan der Zellmembran	1·63	13·10	12·39
Zellulose „ „	1·78	14·31	13·54
Restsubstanz der „	2·38	19·13	18·10
Fett	0·28	22·51	21·29
Kalorien	446·1	3586·6	3392·8

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	30·74
Pentosan	28·25
Restsubstanz	41·01

Kot.

	Oehm	Schönherr	Oehm in 58·3 g pro Tag	Schönherr in 76·1 g pro Tag
	In 100 Teilen trocken Kot			
Asche	8·94	11·06	5·2	8·4
Organisches	91·06	88·94	53·1	67·7
N	6·12	6·09	3·56	4·63
Pentosan	12·41	11·47	7·23	8·73
Zellmembran	25·79	26·29	15·03	20·10
darin Pentosan	6·13	7·70	3·57	5·86
„ Zellulose	11·20	10·80	6·52	8·21
„ Restsubstanz	8·46	7·79	5·04	5·93
Fett	5·19	4·70	3·02	3·58
Stärke	6·80	6·20	3·96	4·72
Kalorien	499·6	488·8	291·1	971·8

In 100 Teilen Zellmembran:

	Oehm	Schönherr
Zellulose	43·41	41·08
Pentosan	23·89	29·66
Rest	32·70	29·26

Die beiden Personen verzehrten nicht die gleiche Nahrungsmenge, Person Sch. etwas weniger. Die Ausscheidungen waren ziemlich verschieden, bei O. kam wesentlich weniger Kot als bei Sch., während in allen früheren

Versuchen es gerade umgekehrt war und O. eine etwas geringere Verdaulichkeit aufwies wie Sch. Worauf sich diesmal dieser Unterschied gründete, läßt sich schwer sagen. Was zunächst die Beschaffenheit des Brotes anlangt, so geht es mit einem Zellmembrangehalt von 5·8 Prozent der Trockensubstanz über den Zellmembrangehalt der Graupen von 67 Prozent Ausmahlung noch hinaus, mit Roggen verglichen, entspräche es einer Ausmahlung von über 72 Prozent. Vielleicht wird es in Zukunft besser sein, solche Vergleiche nach dem Zellmembrangehalt des Produktes als nach dem Grade der Ausmahlung zu machen, da man in letzterem Falle von einem unbekannten Rohmaterial ausgeht und z. B. 70 oder 60 Prozent Ausmahlung ja ganz verschiedene Produkte für die Ernährung darstellen können. Die Zellmembran enthielt weniger Pentosan wie anderweitig untersuchte Graupenproben. Dies würde sich durch die Schonung des Keimlings erklären, der weniger Pentosane in der Zellmembran führt, wie das umliegende Gewebe der Frucht und Samenhaut. Der Eiweißgehalt des Brotes ist in Anbetracht der vorliegenden Ausmahlung recht erheblich.

Die Nahrungsaufnahme bei beiden Personen war:

Bei Oehm 1216 g frisches Brot + 31·6 g Fett = 804·0 Trockensubstanz im Brot
= 3586·6 Kal. + 293·8 Fett Kal. = 3880·4 Kal.

„ Schönherr 1150 g frisches Brot + 28·3 g Fett = 760·4 Trockensubstanz im Brot
= 3392·8 Kal. + 263·1 Fett Kal. = 3655·9 Kal.

Betrachtet man das Gesamtresultat für die Kalorien und den N, so hat man als Verlust in Prozenten:

	Bei Oehm	Bei Schönherr
Kal. . . .	8·11	10·96
N	26·54	36·45

Für eine ähnliche Ausmahlung ergab bei denselben Personen sich bei Roggenbrot ein Verlust von 11·7 Prozent der Kalorien und 39·7 Prozent des N, im Verhältnis hierzu ist das Resultat bei O. sehr gut, bei Sch. zwar ungünstiger wie bei O., aber doch nicht ungünstiger wie für den Roggen. Die Ausnützung bei O. kommt im N etwa dem Weizen (80 Prozent Ausmahlung) nahe (24·56 Prozent N-Verlust). Eine besondere Aufschließung der Proteinstoffe durch das gewählte Verfahren läßt sich also nicht nachweisen.

Die Nahrung war sicher genügend für die beiden Leute und ihre Beschäftigung, trotzdem nahmen sie an Gewicht ab, sie kamen, wie nachfolgende Tabelle zeigt, mit dem N der Nahrung annähernd ins Gleichgewicht (Tabelle S. 344). O. setzte + 3·71 g N an, Schönherr gab 2·56 g N in 6 Tagen ab, ersterer nahm um 1 Kilo, letzterer um 4 Kilo in derselben Zeit ab, nach

der Sachlage kann es sich nur um Wasserabgabe gehandelt haben, woraus zu folgern ist, daß bei der üblichen, ziemlich ungenügenden Durchschnittskost besonders bei Sch. erhebliche Wassermengen angesetzt worden waren.

Oehm.

März 1917	Harnmenge in ccm	N im Harn	N im Kot	Summe	Aufgenommen N	Bilanz
7.	1530	10·4	3·56	13·96	13·69	− 0·27
8.	1820	9·7	3·56	13·26	13·94	+ 0·68
9.	1460	9·4	3·56	12·96	13·70	+ 0·74
10.	1400	8·1	3·56	11·66	13·44	+ 1·78
11.	2690	9·3	3·56	12·86	12·70	− 0·16
12.	1160	8·2	3·56	11·76	12·70	− 0·94

Schönherr.

März 1917	Harnmenge in ccm	N im Harn	N im Kot	Summe	Aufgenommen N	Bilanz
7.	1880	9·9	4·63	14·53	13·31	− 1·22
8.	2140	8·1	4·63	12·73	13·53	+ 0·80
9.	2340	8·6	4·63	13·23	11·93	− 1·30
10.	1520	7·4	4·63	12·07	12·62	+ 0·55
11.	2860	8·2	4·63	12·83	12·25	− 0·58
12.	1260	8·4	4·63	13·03	12·25	− 0·78

Ich habe an der Hand der früher veröffentlichten Versuche schon mehrfach auf die Unsicherheit des Körpergewichtes zur Beurteilung einer zureichenden und nicht zureichenden Kost hingewiesen und möchte daher hier noch besonders betonen daß auch wochenlange Versuche, bei denen ein gleichmäßiges Gewicht beibehalten wird, kein Beweis für eine zureichende Nahrung sind, wenn man mit Wasseransatz von mehreren Kilogramm mitunter rechnen muß. Die Ursachen der Wasseransätze sind uns so weit bekannt, als unzureichende Kost leicht zu Wasseransatz führt, warum aber manchmal dies Wasser auch wieder ausgeschieden wird, trotzdem noch ein Kalorienmangel vorliegt[1] ist vorläufig nicht zu klären. Person Sch. reichte mit 12·9 g N p. Tag anscheinend gerade aus; wenn man die Schweißverluste schätzt, so war der N-Verbrauch wohl über 14 g pro Tag bei sicherlich an Kohlehydraten etwas abundanter Kost (= 87·5 g Protein).

Bezüglich der Proteinausnützung läßt sich folgendes sagen:

[1] Siehe z. B. die Versuche mit Äpfeln. *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 237.

Person	Protein im Kot pro Tag	= N	N-Ausscheidung im Kot	Protein-N abgezogen	N-Aufnahme im Tag	Prozent Verlust an Protein	Prozent Verlust an Stoffwechsel-N	Auf 100 Ges.-N-Ausscheidung im Kot trifft Stoffwechsel-N
O.	12·97	2·07	3·56	1·49	13·41	15·43	11·11	41·8
Sch.	18·03	2·87	4·63	1·76	12·70	22·60	13·86	38·0

Der Verlust ist bei beiden Versuchspersonen erheblich verschieden und beträgt im günstigsten Falle 15·43 Prozent. In diesem Falle ist er wesentlich besser als er bei Roggen gleichen Zellmembrangehaltes wäre und im zweiten Falle nicht schlechter als bei Roggen im ganzen, also besser als bei Brot aus letzterem. Das Verhältnis zwischen Gesamt-N-Ausscheidung und N in Stoffwechselsprodukten ist in beiden Fällen nicht sehr verschieden (Mittel 39·9 Prozent).

Hinsichtlich der Ausnützung der Pentosane und der Zellmembran gibt nachstehende Tabelle Aufschluß.

Von 100 Teilen werden verloren:

	Oehm	Schönherr	Mittel	Bei Roggenbrot v. 75 proz. Ausmahlg.
Von den Gesamtpentosen .	13·81	17·66	15·73	19·0
„ Zellmembran . . .	32·29	45·66	38·97	47·0
„ Zellulose d. Zellmembr.	45·57	60·69	53·10	50·8
„ Pentosan „	27·27	47·29	37·28	37·8
„ der Restsubst. „ . .	26·35	32·76	29·55	52·4
„ freien Pentosen . .	9·33	7·73	8·53	5·6

In allen Teilen, die mit der Zellmembran zusammenhängen, war diesmal die Ausnützung bei Sch. herabgesetzt, vielleicht auffallend ist die geringe Lösung der Pentosane in der Zellmembran bei Sch. Die freien Pentosane zeigen in beiden Fällen eine sehr gute Resorption, bei Sch. sogar noch etwas besser als bei O., was übrigens nichts besagen will, da, wie ich öfter hervorgehoben habe, auch gelöste Pentosane aus der Zellmembran im Darm liegen bleiben können, wenn die Zellmembran sich in den unteren Partien des Dickdarmes erst löst, wo an und für sich die Resorption sehr eingeschränkt erscheint.

Die großen Unterschiede in der Gesamtverdaulichkeit zwischen beiden Personen erklären sich auch durch die ungleiche Resorption der Zell-

membran nicht, allein die Differenz der organischen Substanz im Kote macht 67·7 — 53·1 = 14·6 g täglich, der Unterschied der Resorption der Zellmembran 20·1 — 15·03 = 5·07 g, d. h. die Zellmembran deckt nur $^1/_3$ des Mehrverlustes. Mit der minderen Verdauung geht also der Verlust anderer Produkte und eine Steigerung der Stoffwechselprodukte offenbar Hand in Hand. Von dem erhöhten Proteinverlust war bereits oben die Rede. Was die übrigen Bestandteile anlangt, so läßt sich folgendes sagen:

Beide Personen unterscheiden sich in diesem Versuche wesentlich in der Resorption der Zellmembran. Sch. hat weniger gut verdaut als O. In der Resorption der „freien Pentosane" ist kein Unterschied, er findet sich nur da, wo es sich um die Lösung der Zellmembran handelt. Zum Vergleich habe ich die Mittelwerte der Verdauung der Zellmembran des Roggens bei 75 Prozent Ausmahlung bei den Personen herangezogen. O. verdaute alle Bestandteile der Gerstenzellmembran etwas besser als dem Mittelwert des Roggens entspricht, bei Sch. ist zwar im ganzen die Zellmembran um weniges besser verdaut als jene des Roggens, im einzelnen sind aber Unterschiede vorhanden, so in der Zelluloselösung, die bei ungünstiger Resorption im allgemeinen immer zuerst in ihrer Resorption geschädigt wird. Daß das Gesamtresultat etwas günstiger als beim Roggen ist, erklärt sich wohl daraus, daß bei der angewandten Schälmethode der Gerste die eigentlichen Kleberzellenlagen besser entfernt werden, als bei der sonst üblichen Zermahlung, es nimmt relativ das Mehl an Keimlingsgewebe zu und dieses ist, wie ich a. O. gezeigt habe, besser resorbierbar. Vielleicht hätte man erwarten können, daß der Unterschied noch mehr zugunsten der Gerstenzellmembran ausfallen sollte.

Die Trennung der Ausscheidungen in Stoffwechselprodukte und Unverdauliches ergibt sich aus nachstehender Tabelle:

Person	Verlust an Kal. im Kot				Kal. im Kot insgesamt	Kal. im Kot aus Stoffwechselprod.	Verzehrte Kal. im Brot	Vom Verzehrten entstehen Prozent Stoffwechselprod.	Von 100 Kal. im Kot sind Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran	Pentosan	Summe					
O.	16·63	129·3	28·2	174·1	291·1	117·0	3587	3·26	40·2
Sch.	19·82	171·9	34·04	225·7	371·8	146·1	3393	4·30	39·3

Das Ergebnis läßt ersehen, daß der Stoffwechselanteil ein geringer, und bei beiden Personen um weniges verschieden ist.

Person Sch. hat, wie schon angegeben, weniger gut ausgenützt wie O., die Ursachen liegen, wie man sieht, in der schlechten Verwertung der Zellmembran und der Stärke.

Die Bildung von Stoffwechselprodukten ist trotz der tüchtigen Leistung des Darmes gering bei beiden Personen, in der zu erwartenden Richtung verschieden. Mittel des Verlustes = 3·78 Prozent, größer als der Verlust durch Stoffwechselprodukte ist der Verlust durch Unverdauliches, das ist sehr bemerkenswert, weil bisher das umgekehrte Verhalten beobachtet worden war.

Unresorbiert blieb bei O. (8·11 — 3·26) = 4·85 Prozent der Zufuhr an Kal.,
bei Sch. (10·96 — 4·30) = 6·66,
im Mittel also 5·75 Prozent.

Für das Gerstenmehl sind die Ergebnisse der Verluste im Kote entschieden besser als bei Roggenmehl. Bei Roggen mit 65 Prozent Ausmahlung — also weniger weitgehender Ausmahlung als der Gerste entspricht — haben Thomas und ich bei 9·8 Prozent Gesamtkalorienverlust, 5·68 Prozent als Stoffwechselprodukte und 4·1 Prozent als Unverdauliches nachgewiesen. Somit scheint in dieser Beziehung die Gerste näher dem Weizen als dem Roggen zu stehen. Da die Art der Ausmahlung die Kleiezellen weniger schonte wie die Keimlinge, so kann man auch sagen, was schon durch eine frühere Untersuchung gezeigt wurde, daß die Keimlinge keine den Darm besonders zur Tätigkeit seiner Drüsen reizende Beschaffenheit haben können.

Durch den Keimprozeß, welcher nach dem Schälen des Kornes bei diesem Gerstenpräparat eintritt, wird vielleicht die Stärke zum Teil leichter löslich, allerdings steht dieser Möglichkeit der Umstand im Wege, daß durch Beseitigung der Kleberschicht auch die sekretorischen Zellen offenbar großenteils beseitigt werden und die Diastasebildung sich mindert. Die Resorptionsgröße der Stärke läßt sich übrigens leicht feststellen. Der Stärkegehalt des Brotes ist rund 79·6 Prozent (Stärke als Rest nach Abzug von Protein, Asche, Fett, Zellmembran berechnet). Bei O. wurden 640 g Stärke, bei Sch. 509·9 g Stärke pro Tag aufgenommen. Der Verlust ist also bei O. = 0·62 Prozent, bei Sch. 0·79 Prozent, im Mittel = 0·70 Prozent. Zieht man bei der Zufuhr aber die „freien Pentosane" von der Stärke noch ab, so sind nur 74·7 Prozent Stärke vorhanden, die Einnahmen werden für O. 600 g und für Sch. 568·1 g, der Verlust bei O. 0·66 Prozent, bei Sch.

0·83 = 0·74 Prozent im Mittel. Das ist zwar eine gute Verdauung der Stärke, sie steht aber doch hinter jener der Weizenstärke etwas zurück, ist aber nennenswert besser als jene der Roggenstärke.

Wenn man diese Ergebnisse mit den bei Weizen und Roggen durch meine Untersuchungen festgestellten Tatsachen vergleicht, so unterscheiden sich Zerealien gleicher Ausmahlung im allgemeinen nur wenig, doch darf darauf hingewiesen werden, daß der Roggen auch bei guter Ausmahlung durch die weniger gute Verdaulichkeit des Eiweißes dem Weizen und der Gerste nachsteht, denn das etwa abweichende Resultat bei Person Sch. für Gerste erklärt sich wesentlich durch das geringe Versagen der Zellmembranverdauung, welche von zufälligen Umständen abhängig gewesen sein muß, da Sch. sonst besser verdaute als O.

b) Malzkaffee.

Auf weitere Verwendungsweisen der Gerste will ich nur in aller Kürze eingehen, zunächst auf die Beschaffenheit des Malzkaffees. Nach den üblichen Annahmen liefern 1000 g lufttrockene Gerste 337 g Extrakt je nach der Art der Extraktion mehr oder weniger. Ich habe den Malzkaffee selbst, den Extrakt und den Rückstand analysiert, der Rückstand bezieht sich auf ein möglichst weitgehend ausgelaugtes Material.

In 100 Teilen Trockensubstanz sind:

	Bei Malzkaffee	Im Rückstand	In Lösung
Asche	2·68	4·17	2·33
Organisches . . .	97·32	95·83	97·67
N	1·61	3·37	1·20
Pentosan	7·85	29·09	2·96
Zellmembran . . .	12·11	50·00	3·39
darin Zellulose . .	4·57	18·98	1·28
„ Pentosan . .	4·34	17·16	1·37
„ Restsubstanz	3·21	13·95	0·73
Kal.	448·0	466·3	444·1

Von 100 Kal. werden etwa 38·6 Kal. in Extrakt verwertet, der Rest geht verloren. Aus der Ernte von 1916 waren etwa 320000 Tonnen zur Herstellung von Malzkaffee in Aussicht genommen, d. h. nicht weniger als rund 13 g pro Kopf und Tag. Es wurden vor dem Krieg etwa so viel Getreidekaffee wie Bohnenkaffee (dem Gewicht nach) verbraucht.

Die Menge des in Friedenszeit hergestellten Kaffeegetränkes (inkl. Surrogaten) wird auf 260[1] Liter pro Kopf und Jahr geschätzt, was entschieden noch zu gering ist. Der volle Ersatz von Kaffee durch Gerste hätte also ungeheure Quantitäten von diesem Nährmittel verbraucht, doch ist dieser Forderung wohl nie ganz entsprochen worden.

c) Die Gerstengraupen.

Die Gerste bildet in Friedenszeiten als Graupe einen umfangreichen Handelsartikel, die Verwendung sollte auch im dritten Kriegsjahr möglichst gesteigert werden, doch ist die Ausführung so ziemlich in den Anfängen stecken geblieben. Immerhin war es möglich, gelegentlich etwas von diesen Graupen zu erhalten. Um möglichst viel zu liefern, hat man die Ausmahlung der Gerste nicht so weit getrieben wie im Frieden. So sind zwei Sorten mit 60 und mit 67prozentiger Ausmahlung hergestellt worden, die etwas unansehnlicher sind wie die frühere Ware. Ihre Zusammensetzung läßt aber erkennen, daß der Reichtum an Zellmembran nicht sehr bedeutend ist.

Die Graupen enthielten in 100 Teilen trocken:

	60proz. Ausmahlung	67proz. Ausmahlung
	Prozent	Prozent
Asche	1·46	1·47
N	1·53	1·54
Zellmembran . .	4·79	4·26
mit Zellulose .	1·33	1·29
„ Pentosan .	1·76	1·49
„ Restsubstanz	1·70	1·48

In 100 Teilen Zellmembran waren:

Zellulose . . .	27·76	30·28
Pentosan . . .	36·87	35·11
Rest	35·37	34·61

Roggen mit 65prozentiger Ausmahlung gibt 3·14 Prozent Zellmembran nach meinen Bestimmungen. Die Graupen sind also bei der gleichen Ausmahlung mit Roggen etwas reicher an Zellmembran, was eben auf die Verschieden-

[1] Bierkonsum etwa 100 Liter pro Kopf und Jahr.

heit des Ausgangsmaterials zurückzuführen ist. Zwischen den beiden Graupensorten war ein Unterschied der Zusammensetzung nicht aufzufinden, doch steht die Natur des Ausgangsmaterials nicht fest. Die hohe Ausmahlung stört beim Genuß der Graupen nicht, wohl aber wird durch diesen gemeinsamen Genuß von Brot aus 80prozent. Ausmahlung mit Graupen von 60 oder 67 die Menge der Zellhüllen in den Ausscheidungen mehr oder minder stark vermehrt.

Die Verdaulichkeit der Graupen, wie sie jetzt im Handel vorkommen, wird sehr nahe der des Gerstenbrotes sein, dessen Untersuchung vorstehend berichtet worden ist.

Die Verwertung von Keimlingen der Zerealien für die menschliche Ernährung.

Von

Geheimrat **Max Rubner**.

In dieser Zeitschrift habe ich über die Verwertbarkeit des Keimlingsmehles von Roggen und Weizen nähere Angaben nach Versuchen am Hunde gemacht und festgestellt, daß die möglichst von Kleie freigehaltenen Keimlinge ein ganz vorzügliches Nährmittel sind, ihre Eiweißstoffe werden fast restlos aufgesaugt und die eigentliche Zellmembran des Keimlingsgewebes ist außerordentlich viel besser resorbierbar wie die Frucht- und Samenschale des Getreidekornes. Wenn man auch nur in runden Summen 1 Prozent des Getreides als Ausbeute von solchem Keimlingsmehl erwarten darf, so stellt es eben doch ein neues, für bestimmte Ernährungszwecke vorteilhaft zu verwendendes Material dar. Bei diesem Stande der Dinge war es erwünscht, am Menschen selbst Versuche in einer Weise anzustellen, um die wesentlichen Punkte der günstigen Verdaulichkeit, die ich am Hunde beobachtet habe, nachzuprüfen.

Das Keimlingsmehl für sich läßt eine Verwendung zur Herstellung eines Gerichtes nicht wohl zu, daher war es nötig, dasselbe als Zusatz zu einem anderen Nahrungsmittel zu benützen. Ich habe daraus ein Brot herstellen lassen. Um die Wirkung der Keimlinge möglichst klar hervortreten zu sehen, mußte feines Weizenmehl zu dem Gebäcke verwendet werden, weil bei diesem der geringe Kleiegehalt bekannt und die außerordentlich günstige Verdaulichkeit festgestellt ist.[1] Feines Weizenmehl enthält nur

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 81.

2·66 Prozent Zellmembran, die mit 24·6 Prozent Verlust verdaulich ist. Backversuche der staatlichen Versuchsbäckerei ergeben, daß man leicht $^1/_5$ des Weizenmehls durch Keimlingsmehl ersetzen kann.

Ein solches Brot, das geht aus der Natur der Mischung hervor, wird reich an Eiweiß, weit reicher als ein Vollkornbrot, auch wenn nur mäßige Mengen von Keimlingen mit verbacken werden, die Bestandteile der Mischung sind nachstehend aufgeführt.

Keimlingsversuch.

	100 Teile trockenes Brot	Oehm pro Tag 850·2 g	Schönherr pro Tag 756·3 g
Asche	2·30	19·5	17·4
Organisches	97·70	830·7	738·9
N	2·63	22·36	19·89
Pentosan	5·02	42·67	38·46
Zellmembran	2·87	24·40	21·70
davon Pentosan	0·68	5·78	5·14
„ Zellulose	1·42	12·07	10·73
„ Restsubstanz	0·77	6·55	5·82
Fett	2·80	23·80	21·16
Kalorien	438·7	3729·7[1]	3317·8[2]

In 100 Teilen Zellmembran

Zellulose	49·47
Pentosan	23·88
Rest	36·65

Es wurden $^4/_5$ lufttrockenes Weizenmehl mit $^1/_5$ lufttrockenen Roggenkeimlingen gemischt, letztere wurden benützt, weil sie kleieärmer waren wie die Weizenkeimlinge, die mir zur Verfügung standen. Das Brot war dunkler wie das aus reinem Weizenmehl hergestellte, aber außerordentlich locker und von vorzüglichem Geschmack. Zwei Versuchspersonen, die schon zu zahlreichen anderen Experimenten gedient hatten, aßen nach freiem Willen bis zur Sättigung, außerdem konnten kleine Quantitäten Fett und etwas Zucker als Beikost zur Verfügung gestellt werden. Den Gang der Experimente ersieht man aus nachstehender Tabelle

[1] Dazu noch 395 Kal. aus Fett und Zucker = 4124·7 Kal. im ganzen.
[2] „ „ 410 „ „ „ „ „ = 3728·0 „ „ „

Weizenauszugsmehl + 20 Prozent Roggenkeimlingsmehl.

Oehm.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Brot, frisch berechnet	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
1917							
28. II.	1.	70½	1410 g Brot, 40 g Fett, — g Zucker	1410·0	—	—	—
1. III.	2.		1340 „ — „ 90 „	1363·6	1h 30′ n.	75	25
2. III.	3.	69½	1350 „ — „ 90 „	1407·2	—	—	—
3. III.	4.		1260 „ — „ 90 „	1314·1	10 00 v.	229	69
4. III.	5.	70	1220 „ — „ 90 „	1295·3	12 15 n.	297	77
5. III.	6.		1240 „ 60 „ — „	1320·6	—	—	—
6. III.	7.	70	—	—	10 00 v.	210	90
					4 30 n.	74	15
			pro Tag g	1351·8	Se.	g 276	
			Trockensubstanz = g	850·0			

Brot 1700 g frisch = 1070 g lufttrocken und vermahlen. = 62·94 Prozent Trockensubstanz.

Schönherr.

Datum	Versuchstag	Körpergewicht	Nahrung	Brot frisch	Kot Zeit	Kot frisch	Kot trocken
1917							
28. II.	1.	66½	1310 g Brot, 50 g Fett, — g Zucker	1310·0	—	—	—
1. III.	2.		1065 „ — „ 90 „	1077·8	6h 45′ n.	250	70
2. III.	3.	66	1190 „ — „ 90 „	1241·1	—	—	—
3. III.	4.		965 „ — „ 90 „	994·2	10 45 v.	200	60
4. III.	5.	66	1170 „ 10 „ 90 „	1229·3	2 15 n.	210	60
5. III.	6.		1230 „ 50 „ — „	1315·6	6 45 „	120	30
6. III.	7.		—	—	10 15 v.	199	59
			pro Tag g	1194·6	Se.	g 279	
			Trockensubstanz = g	756·3			

Die verwendeten Roggenkeimlinge hatten 92·6 Prozent Trockensubstanz und in 100 Teilen trocken:

Asche	6·76
Organisches	93·24
Gesamtpentosan	7·33
Zellmembran	7·99
mit Pentosan	2·55
„ Zellulose	3·13
„ Restsubstanz	2·31
N	6·57
Fett	14·44
Kalorien	487·8

Das Weizenmehl hatte 87·55 Prozent Trockensubstanz und in dieser:

Asche	0·32
N	1·59
Pentosan	3·99
Kalorien	435·20

80 Prozent Mehl = 70·4 Trockensubstanz + 20 Teile Keimlinge = 18·5 Trockensubstanz geben in 100 Trockensubstanz des Brotes 79·2 Teile Mehl und 20·8 Teile Keimlingsmehl[1]:

Die Zusammensetzung des Brotes, die eingeführten Nahrungsmengen s. S. 352, die Ausscheidungen sind nach ihren analytischen Ergebnissen in folgender Tabelle zusammengefaßt:

	In 100 Teilen Kot		In 44·8 g trockenem Kot Oehm	In 45·5 g trockenem Kot Schönherr
	Oehm	Schönherr		
Asche	12·10	13·01	5·42	5·91
Organisch	87·90	86·99	39·4	39·6
N	7·10	7·55	3·18	3·43
Pentosan	5·49	4·85	2·46	2·21
Zellmembran	15·79	14·06	6·97	6·40
darin Pentosan	3·48	2·98	1·56	1·35
„ Zellulose	6·77	4·64	3·03	2·11
„ Restsubstanz	5·54	6·44	2·48	2·93
Fett	10·61	8·40	4·75	3·82
Stärke	4·00	6·20	1·80	2·82
Kalorien	506·9	496·1	227·2	226·0
	In 100 Teilen Zellmembran			
Zellulose	42·39	33·00		
Pentosan	21·79	21·19		
Rest	35·82	45·81		

[1] Dieses Mischungsverhältnis entspricht auch dem mittleren N-Gehalt des Brotes, berechnet 2·63 aus Keimling und Mehl, im Brot gefunden 2·63.

Das Charakteristische des Brotes ist sein erheblicher Proteingehalt = 16·4 Prozent, die verzehrten Brotmengen waren erheblich. Person O. verzehrte 850g Trockensubstanz, eine Menge, die aber nach meinen früheren Versuchen die günstige Grenze der Verdaulichkeit von Weizenmehl hoher Ausmahlung nicht überschreitet. Die festen Ausscheidungen waren bei beiden Personen fast dieselben, doch hat Sch. etwas weniger Nahrung aufgenommen als O., so daß relativ bei ihm die Kotbildung etwas höher war. Nimmt man zunächst die unmittelbaren Ergebnisse der Ausscheidung, so ging

zu Verlust bei O. 6·09 Prozent der eingeführten Kalorien,
,, ,, ,, Sch. 6·81 Prozent ,, ,, ,,
und an N ,, O. 14·22 Prozent der Zufuhr,
,, Sch. 17·23 Prozent ,,

In früheren Versuchen habe ich[1] für feines Weizenbrot einen Verlust von 4·5 Prozent der Kalorien und 12·3 Prozent des N gefunden, die geringe Erhöhung des Verlustes hier muß auf Rechnung des Kleiegehaltes, den das Keimlingsmehl brachte, zurückgeführt werden in dem Sinne, daß Kleie stets die gesamte Kotbildung steigert. Jedenfalls kann dieses Brot ein gut resorbierbares genannt werden, denn es differiert von optimalen Werten nur um wenige Prozente.

Welchen Anteil an diesen Verlusten die Keimlinge genommen haben, läßt sich nur nach eingehender kritischer Besprechung der analytischen Ergebnisse ersehen.

Von dem im Kot entleerten N war ein Teil als Protein noch in der unverdauten Zellmembran nachzuweisen, oder zum Teil als Protein nach Lösung der Zellmembran liegen geblieben. Dieser Anteil wurde direkt bestimmt, so ergibt sich dann folgende Betrachtung:

Person	Protein im Kot pro Tag	= N	N im Kot pro Tag	Protein-N abgezogen	N-Aufnahme im Tag	Verlust an Protein-N in Prozenten	Verlust an Stoffwechsel-N in Prozenten	Verhältnis des Gesamt-Kot-N z. Stoffwechsel-N in Prozenten
O.	8·01	1·28	3·18	1·96	22·36	5·73	8·76	61·6
Sch	11·77	1·88	3·43	1·55	19·89	9·45	7·79	45·1

Die Kot-N-Ausscheidung teilt sich, wie immer bei Vegetabilien, in einen Stoffwechselanteil und in Unresorbiertes. Die Menge des Stoffwechselanteiles stimmt in beiden Fällen sehr nahe überein (8·8 : 7·8 Prozent) = 8·27 Prozent der Zufuhr im Mittel, dagegen weicht der Verlust durch

[1] *Dies Archiv.* 1916. Physiol. Abtlg. S. 86.

unresorbiertes Protein stärker ab, bei O. sind nur 5·73 Prozent, bei Sch. 9·45 Prozent des Proteins nicht resorbiert worden. An diesem Proteinverlust ist in erster Linie sicher jener Proteinanteil beteiligt, der schon im Brote in der Zellmembran steckt. Dieser Anteil betrug 0·33 g N p. 100 Teilen trockenen Brotes, also bei O. 2·8, bei Sch. 2·49 g N pro Tag. Wie sich später bei der Betrachtung der Resorption der Zellmembran zeigen wird, haben beide Versuchspersonen die letztere gleich gut, d. h. fast zu $^7/_{10}$ resorbiert. Dann hätte man annehmen sollen, daß auch der Protein N der Zellmembran in gleichem Maße zur Resorption gelangen müßte. Die Berechnung zeigt, daß bei O. aber 45·7 Prozent verloren werden, bei Sch. 75·5 Prozent, also bei O. 54 Prozent, bei Sch. 24 Prozent zur Resorption kamen, in beiden Fällen weniger als Zellmembranen aufgelöst wurden, die Zerstörung der letzteren und die Proteinresorption decken sich also nicht, das Verhältnis liegt ähnlich wie bei der Pentosanresorption in anderen Fällen, wobei auch eine Loslösung der Pentosane ohne Resorption vorkommen kann.

Diese Überlegungen zeigen aber, daß das freiliegende Protein überhaupt, d. h. jenes nicht an die Zellmembran gebundene sozusagen restlos resorbiert worden sein wird. Durch das ungleiche Verhalten des Protein N wird die Relation zwischen Proteinverlust und Stoffwechselverlust an N etwas verschoben und bei Sch. auf 45 Prozent für den Stoffwechselanteil herabgedrückt gegen 62 Prozent bei O. Ich komme also bezüglich der Resorptionsfähigkeit der Keimlingsproben zu derselben Anschauung, die ich bereits auf Grund der Versuche am Hunde ausgesprochen habe. Das Keimlingseiweiß gehört zu den bestresorbaren Pflanzeneiweißstoffen.

Was die Stoffwechselprodukte des Kotes im allgemeinen, soweit sie durch die kalorimetrische Messung umfaßt werden können, anlangt, so hat sich durch meine Untersuchungen ergeben, daß ihre Menge zunimmt, wenn ein Mehl von schlechterer Ausmahlung vorliegt und aus den Versuchen mit anderen Vegetabilien hat sich gezeigt, daß die Stoffwechselprodukte in ihrer Menge offenbar mit der Eigenart des Nahrungsmittels zusammenhängen.

Daher war es a priori von Interesse, zu sehen, ob etwa die Keimlinge sich in dieser Hinsicht spezifisch wirksam verhalten, eine solche Wirkung kann aber nicht rein hervortreten, weil die Keimlinge noch Kleie einschließen, deren steigernder Einfluß auf die Kotbildung durch meine früheren Untersuchungen über Weizen- und Roggenbrot schon näher bestimmt ist. Die weitere Berechnung zeigt folgendes für das Keimlingsbrot.

Die Stoffwechselprodukte insgesamt ergeben sich aus folgender Tabelle:

Person	Verlust an Kalorien im Kot				Kalorien im Kot insgesamt	Kalorien im Kot aus Stoffwechselprodukten	Verzehrte Kalorien im Tag	Vom Verzehrten entstehen Stoffwechselprodukte	Von 100 Kalorien sind Stoffwechselprodukte
	Stärke	Zellmembran[1]	Pentosan	Summe					
O.	7·56	80·1	3·51	91·17	227·2	136·6	3730	3·65	59·9
Sch.	11·84	81·3	3·35	96·49	226·0	129·5	3318	3·87	57·1
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	3·76	58·5

Die Menge der Stoffwechselprodukte ist, wie man sieht, in beiden Versuchsreihen so gut wie identisch = 3·76 Prozent der Zufuhr im Mittel, also sehr gering; der Verlust an Unresorbiertem beträgt bei O. (6·09 — 3·65 =) 2·44 Prozent der Zufuhr und bei Sch. (6·81 — 3·87 =) 2·94 Prozent der Zufuhr. Das Verhältnis zwischen Stoffwechselprodukten und Gesamtkalorienverlust ist 58·5 Prozent, eine Zahl, die bei den bisherigen Versuchen sehr häufig in ähnlicher Höhe gefunden wurde. Es läßt sich also nicht beweisen, daß die Keimlinge eine besondere, die Stoffwechselprodukte steigernde Wirkung besitzen. Insoweit das Keimlingsbrot obiger Herstellung in der Bildung von Stoffwechselprodukten des Kotes über die Grenzen reinen Weizenbrotes hinausgeht, kann diese Wirkung ganz auf die mehr nebensächliche Beigabe von Kleiebestandteilen zurückgeführt werden. Weitgehende Abtrennung der Kleiebestandteile ist also die Vorbedingung für noch weitere Steigerung der Resorption eines Weizenkeimlingsgemisches.

Ausgezeichnet ist die Resorption der Stärke. Wenn ich den Gehalt der Zufuhr an Stärke berechne, so hatte das Brot 77·6 Prozent der Trockensubstanz.[2] O. hat 660·4 und Sch. 587·3 g Stärkemehl verzehrt, im Kot wurden nach direkter Bestimmung nur 1·8 g bzw. 2·82 g Stärke verloren, was für O. 0·27, für Sch. 0·48 Prozent Verlust an Stärke ausmacht. In anderen Fällen habe ich oft bemerkt, daß es stets Teile der Kruste sind, die allenfalls unresorbiert bleiben, es müssen also offenbar durch die Verhärtung bei der Krustenbildung manchmal dauernde Schwierigkeiten für die Resorption kleiner Reste des Brotes geschaffen werden.

Nun ist aber noch folgendes zu bemerken. Unter Stärke fällt bei obiger Berechnung auch noch jener Anteil von Pentosan, der nicht in der Zellmembran enthalten ist. Zieht man diesen Anteil von der Einnahme von

[1] Nach direkter Bestimmung der Verbrennungswärme.

[2] Gesamtmenge des Brotes, abzüglich Protein, Asche, Fett.

Stärke noch ab, so bleibt bei O. (660·4 — 36·9) 623·5, bei Sch. (587·3 — 32·4) = 553·9 reine Stärke und dementsprechend erhöht sich der Verlust an Stärke auf 0·29 bis 0·51 Prozent, was belanglos ist. Jedenfalls hat das Beibacken von Keimlingen die Resorption der Stärke in keiner Weise nachteilig beeinflußt.

Der Verlust an Pentosan, Zellmembran und deren Teilen war folgender:

	Oehm	Schönherr	Mittel	Verlust beim Menschen für feinstes Weizenmehl	Verlust beim Hundevers. nur für Keimlinge
An Gesamtpentosan . . .	5·76	5·74	5·75	6·60	20·50
„ Zellmembran	28·15	29·49	28·82	24·60	32·23
Pentosan der Zellmembran	26·98	26·26	26·62	43·20	24·41
Zellulose „ „	25·10	19·66	22·38	21·90	47·52
Restsubst. „ „	37·70	50·34	44·02	24·50	8·18
An freien Pentosanen . .	2·44	2·58	2·51	4·1	12·98

Die Gesamtpentosen werden ausgezeichnet resorbiert und wenn man nur jene Mengen in Betracht zieht, welche nicht an Zellmembran gebunden sind, so ist der Verlust nur 2·51 Prozent. Das Zellmembrangemenge wurde recht gut aufgelöst und auch die Zellulose. Das Ergebnis unterscheidet sich nicht viel von den Resultaten, die bei ausschließlichem Weizenbrotgenuß aus feinstem Mehl (s. Stab 4) bei einer anderen Person gewonnen worden war, nur waren dabei die Pentosen der Zellmembran weniger gut, die Restsubstanz aber etwas besser verwertet worden. In der Verwertung der Roggenkeimlinge unterscheidet sich andererseits der Hundedarm nicht nennenswert von den Ergebnissen des Keimlingsbrotes beim Menschen, nur gelangten die Pentosane, sowohl „freie“ wie jene der Zellmembran weniger gut zur Resorption und die Zellulose am ungünstigsten, dafür aber auffallend gut die Restsubstanz. Man sieht auch in diesem Fall wieder, wie sich Schwankungen der Resorbierbarkeit finden, die niemals hinsichtlich des Eiweißes, des Fettes, der Stärke beobachtet werden, ein Beweis für die besonderen Resorptionsbedingungen der Zellmembran.

Die Keimlinge sind also auch für den menschlichen Darm ein leicht resorbierbares Material, das nach keiner Richtung hin ungünstige Rückwirkungen zeigt, auch nicht einmal bei Mischung mit feinstem Weizenmehl, das zu den bestresorbierbaren Vegetabilien zu rechnen ist. Je reiner an Kleie das Keimlingsmehl wird, um so größer kann der Prozentsatz sein, in dem es sich zu Brot beibacken läßt; auf diese Weise entsteht dann ein Material, das ein hervorragender Eiweißträger genannt werden kann und

damit andere Zusätze zu Mehl, wie z. B. Eier, wie dies bisher für besondere Arten von Zwieback der Fall war, unnötig macht. Im Hinblick hierauf hat es Interesse, auch die N-Bilanz der beiden Versuchspersonen zu betrachten.

Oehm.

Datum	Harnmenge in ccm	N im Harn g	N im Kot g	Summe g	Aufgenommener N	Bilanz
28. II.	1840	13·92	3·18	17·10	23·26	+ 6·16
1. III.	2470	13·82	3·18	17·00	22·50	+ 5·50
2. III.	1665	15·48	3·18	19·06	23·21	+ 4·15
3. III.	1500	16·74	3·18	19·92	21·67	+ 1·75
4. III.	1275	16·83	3·18	20·01	21·36	+ 1·35
5. III.	1480	18·28	3·18	21·46	21·69	+ 0·23
			Schönherr.			
28. II.	1380	10·22	3·43	13·65	21·61	+ 7·96
1. III.	2880	11·41	3·43	14·84	17·78	+ 2·94
2. III.	1760	11·48	3·43	14·91	20·47	+ 5·56
3. III.	2040	11·17	3·43	14·60	16·40	+ 1·80
4. III.	2000	12·99	3·43	16·42	20·28	+ 3·86
5. III.	2530	13·60	3·43	17·03	21·71	+ 4·68

Person O. zeigt einen sehr erheblichen N-Ansatz und ist in 6 Tagen be 21·7 g N-Umsatz fast im Gleichgewicht, ähnlich Sch., bei ihm ist aber nach 6 Tagen der N-Ansatz noch nicht zu Ende gekommen. Der Ansatz beträgt am letzten Versuchstage noch immer 4·68 g. Damit ist auch der Beweis erbracht, daß dieses in den Keimlingen eingeführte Eiweiß einen vollen Ersatz für anderweitiges Material bietet.

Druckfehlerberichtigung.

Seite 175 Zeile 14 v. u. lies statt trockner, feuchter, und statt feuchter, trockner.
„ 13 „ statt Vers. I, Vers. II und statt Vers. II, Vers. I.
„ 9 „ statt nur, viel.
„ 7 „ statt sondern auch — und keine.
„ 6 „ statt diese, der.
Seite 236 „ 4 v. o. statt Aufnahme — Ausgabe, ebenso Zeile 12 v. o.
„ 253 „ 12 v. u. Ausfuhr statt Einfuhr.

Der ermüdende Einfluß von rein psychischer, affektloser Arbeit auf den peripheren Teil der Muskelarbeit.

Von

Bernhard Zondek,
cand. med.

(Aus der physikalisch-psychologischen Abteilung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Arbeitsphysiologie. [Geheimrat Prof. Rubner.])

Auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. F. Weber untersuchte ich die Frage: Übt die rein psychische, affektlose Arbeit einen ermüdenden Einfluß auf den peripheren Teil der Muskelarbeit aus? Zunächst sei auf die Versuche von Mosso und Lehmann eingegangen, welche eine ähnliche Fragestellung bearbeiteten.

Mosso[1] konnte bei seinen ergographischen Untersuchungen über die Gesetze der Ermüdung feststellen, daß die motorische Muskelleistung verschieden war, je nachdem der Muskel willkürlich oder durch elektrische Reizung seines Nerven zur Kontraktion gebracht wurde. Während bei willkürlicher Kontraktion jede ergographische Partialarbeit eine große Kraftentfaltung zeigte, die Muskelkraft aber relativ schnell versagte, konnte die Muskulatur bei elektrischer Reizung viel länger in Tätigkeit gehalten werden, wobei die Größe der Einzelarbeit jedoch kleiner war als vorher. Diesen Unterschied in dem motorischen Muskeleffekt erklärt Mosso durch die Ermüdung der Nervenzentren bei willkürlicher Kontraktion, die bei elektrischer Reizung nicht in Frage kommen kann. Und die schnelle Erschöpfung des Willens kann nach Mosso nur dadurch erklärt werden, daß die Anstrengungen der Nervenzentren während der Arbeit größer sind, als sie der Muskel für die zu vollbringende Arbeit gebraucht.

[1] Mosso, Über die Gesetze der Ermüdung. *Dies Archiv.* 1890. Physiol. Abtlg. S. 89—168.

An einem Muskel, der durch willkürliche Kontraktion vollkommen ermüdet war, konnten durch starke elektrische Reize noch bedeutende ergographische Ausschläge erzielt werden, und das gleiche Ergebnis zeitigte die umgekehrte Versuchsanordnung. Daraus folgert Mosso, daß bei vollkommener Erschöpfung der Muskelkraft durch elektrischen Reiz in dem Muskel noch ein Teil von Energie zurückbleibt, der vom Willen ausgenutzt werden kann, ebenso wie bei Erschöpfung durch willkürliche Kontraktion noch ein Teil von Energie zurückbleibt, der durch elektrische Reizung zur Entfaltung gebracht werden kann. Erst durch das Zusammenwirken beider Kontraktionsarten wird die Muskelkraft völlig erschöpft. Nachdem Mosso so festgestellt hatte, daß durch willkürliche Kontraktion auch eine zentrale Ermüdung herbeigeführt werden könne, wandte er sich der umgekehrten Fragestellung zu: ,,ob eine intensive Geistesarbeit auf die Muskelkraft einen Einfluß hat, oder mit anderen Worten, ob die Ermüdung der psychischen Zentren des Gehirns unmittelbar auf die motorischen Zentren desselben wirken kann". Mosso führte seine Versuche an dem von ihm konstruierten Fingerergographen aus. Nachdem ein Dozent $3^1/_2$ Stunden hintereinander Studenten geprüft hatte, schrieb er Arbeitskurven; während er vor der Prüfung mit dem Mittelfinger der linken Hand bei Belastung mit 2 kg 55 Kontraktionen mit der Hubhöhe von 45 mm bis 0 — ausführen konnte, zeigte die nach der Prüfung aufgenommene Arbeitskurve eine wesentliche Verminderung der motorischen Leistungsfähigkeit. Nach 9 Kontraktionen war die Muskelkraft bereits erschöpft, und die nach weiteren $1^3/_4$ bzw. $3^1/_4$ Stunden aufgenommenen Kurven zeigten dasselbe Bild. Diese Verminderung der muskulösen Leistungsfähigkeit führt Mosso in erster Reihe auf eine zentrale Ermüdung zurück, da der Wille seine Wirkung auf die Muskeln nicht mit voller Kraft entfalten könne, weil sich die Ermüdung der psychischen Zentren den motorischen Zentren mitteile. Da sich aber nach der psychischen Arbeit auch bei elektrischer Nervenreizung eine verminderte Muskelleistung zeigte, schloß Mosso, daß neben der Erschöpfung des Willens auch eine Ermüdung des Muskels selbst bei intensiver Geistesarbeit eintritt.

In anderer Weise suchte Lehmann[1] die Frage zu klären. Er untersuchte den Einfluß, den die Denkbarkeit im Augenblick ihrer Ausführung auf die Muskelkraft auszuüben imstande ist, und stellte dann das Abhängigkeitsverhältnis zwischen psychischer Arbeit und gleichzeitiger Verminderung der Muskelkraft fest. Seine Versuchsanordnung gestaltete sich folgendermaßen. Die Versuchsperson arbeitete willkürlich an einem Handergographen.

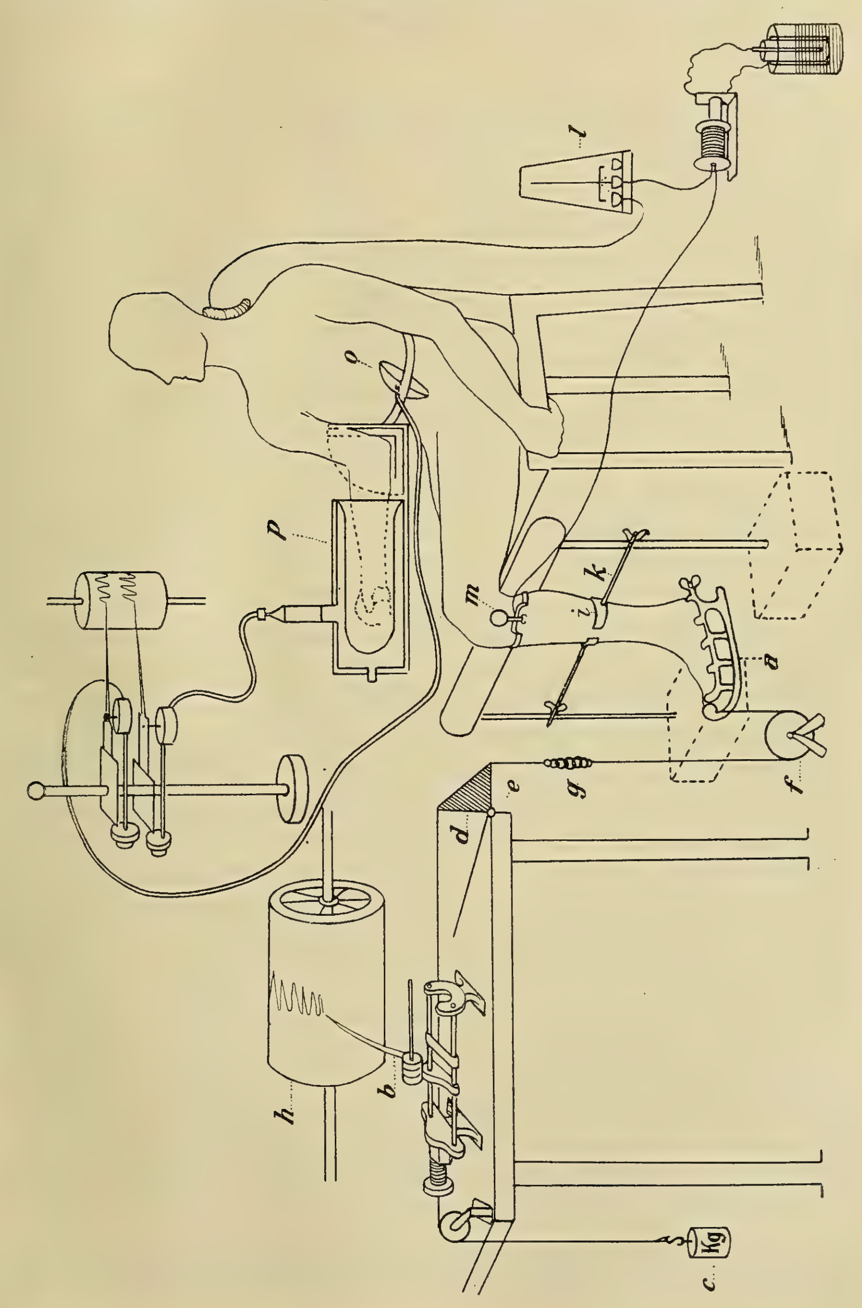
---

[1] Lehmann, *Die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände.* Teil II.

20 Partialarbeiten ausgeführt hatte, wurde ihr eine mit deutlichen Zahlen auf Karton geschriebene Additionsaufgabe vorgelegt, die sie lösen sollte, ohne sich bei ihrer Muskelarbeit stören zu lassen. Die Zeitdauer, die sie zur Lösung der Aufgabe gebrauchte, wurde auf der Walze des Kymographion verzeichnet. Nach weiteren 15 Partialarbeiten wurde ihr eine zweite Aufgabe zur Lösung vorgelegt, und nach nochmaligen 15 bis 20 Partialarbeiten schloß der Versuch ab. Lehmann benutzte als Denkarbeit ausschließlich Rechenaufgaben, um durch Veränderung der Zahlengrößen die Ergebnisse verschieden schwerer Arbeit miteinander vergleichen zu können. Er konnte nun feststellen, daß die Denkarbeit die gleichzeitig ausgeführte Muskelarbeit erheblich beeinflußt. Maximale Kontraktionen können während der psychischen Arbeit überhaupt nicht ausgeführt werden. Die Partialarbeiten nehmen an Größe erheblich ab, um erst nach Lösung der Aufgabe wieder ihre ursprüngliche Größe zu erreichen. Zwischen beiden Vorgängen besteht eine Gesetzmäßigkeit, die sich dadurch ausdrückt, daß die Verminderung der Muskelarbeit um so größer wird, je schwieriger die psychische Arbeit ist. Diese Herabsetzung der muskulären Kraft erklärt Lehmann dadurch, daß ,,der zentrale psychophysiologische Prozeß auf irgend eine Weise die motorische Innervation direkt hemmt, was natürlich eine Verminderung der Muskelarbeit zur Folge hat".

Die Versuche von Mosso und Lehmann beweisen nicht in einwandsfreier Weise, daß die Herabsetzung der Muskelkraft lediglich durch rein psychische Arbeit bedingt ist. Bei beiden kommen noch andere Momente in Betracht. Wenn in den Versuchen Lehmanns psychische und motorische Arbeit nebeneinander hergehen, so muß der Einwand erhoben werden, daß die Aufmerksamkeit der Versuchsperson während der Lösung der Rechenaufgabe auf die psychische Arbeit konzentriert und von der Muskelarbeit abgelenkt wird, wodurch die Arbeitskurve eine Änderung erfahren kann. Mosso übersieht bei seinen Versuchen, daß neben der psychischen Arbeit auch alle möglichen anderen Einflüsse in Frage kommen können. Während des Abhaltens der Prüfung ermüdet die Versuchsperson sicherlich durch längeres Stehen, ferner kommt noch der Gang in das Laboratorium hinzu. Schon dieses allein muß einen Einfluß auf die ergographische Kurve ausüben. Aber abgesehen davon kommen noch komplizierte zentrale Prozesse hinzu. Mosso selbst bemerkt, daß die Gemütserregung mitspiele, ,,denn außer der Mühe zu fragen und die Prüfung leiten zu müssen, kommt noch die Gemütserregung hinzu, die ganze Verantwortung des eigenen Unterrichts zu fühlen und sich von den maßgebenden Kollegen, welche als Mitglieder der Prüfungskommission anwesend waren, beurteilt zu wissen". Demnach hatte der Dozent, der die Arbeitskurven schrieb, keineswegs

rein psychische Arbeit geleistet, sondern er stand unter dem erheblichen Einfluß von Affekten, wie Erregung, Unlust, Furcht. Deshalb ist es auch er-



Fuß-Ergograph und die anderen zu den Versuchen benutzten Apparate.

klärlich, daß Mosso bei sich selbst — nach dem Abhalten von Prüfungen — erheblich geringere Verminderungen der Arbeitskurven erhielt, weil er an diese Tätigkeit gewöhnt war, und infolgedessen die Affektwirkung bei ihm wesentlich weniger mitspielte.

Um nun den Einfluß festzustellen, den eine reinpsychische Arbeit auf den peripheren Teil der Muskulatur auszuüben imstande ist, stellte ich folgende Versuche an: Die Arbeitskurve wurde nur durch elektrische Muskelreizung gewonnen, um die bei der willkürlichen Kontraktion mitspielende Autosuggestion auszuschalten, die dann besonders in Frage kommen kann, wenn der Versuchsperson der Zweck der Versuche bekannt ist. Die Arbeitskurven wurden an dem Fußergographen ausgeführt, den E. Weber[1] konstruiert und in diesem Archiv genau beschrieben hat. (Vgl. Abbildung.) Hierbei wird die Muskelleistung der Dorsalflexoren des Unterschenkels (M. tibialis anterior, M. extensor hallucis longus, M. extenser digitorum longus) gemessen, also einer weit größeren Muskelmasse, als bei dem Mossoschen Ergographen. Nachdem das Bein der Versuchsperson vorschriftsmäßig festgeschnallt ist, werden die Muskeln mittels eines Du Bois Reymondschen Schlittenapparates tetanisch gereizt. Durch ein Metronom wird der Reiz in bestimmten, bei allen Versuchen gleichen Intervallen, unterbrochen. Die Größe der durch die Fußbewegung auf der rotierenden Trommel verzeichneten Ausschläge kann durch Veränderung der angehängten Gewichte beliebig geändert werden.[1] (Vgl. Beschreibung des Ergographen bei E. Weber.) So wurde zunächst die Ermüdungskurve des rechten Fußes aufgenommen, d. h. der elektrische Reiz wirkte solange, bis sich überhaupt keine Ausschläge an der Trommel mehr zeigten. Das Bein wurde dann entspannt, und nun führte die Versuchsperson eine Stunde lang hintereinander geistige Arbeit aus. Um eine möglichst starke Wirkung zu erzielen, wurden Gleichungen zweiten Grades gelöst. Die Zahl der in der Stunde gelösten Aufgaben und die Richtigkeit der Resultate waren eine Kontrolle, daß die Versuchsperson wirklich angestrengt gearbeitet hatte. Nun wurde — selbstverständlich unter genau den gleichen Versuchsbedingungen wie vorher — eine zweite ergographische Kurve geschrieben. Zeigten sich hierbei Abweichungen gegenüber der ersten, so mußten diese auf die Wirkung der psychischen Arbeit zurückgeführt werden. Man könnte jedoch noch den Einwand erheben, daß durch das Schreiben bei der Auflösung der Gleichungen und durch das aufrechte Sitzen auf einem Stuhl eine Ermüdung bzw. Anstrengung gewisser Muskelgruppen herbeigeführt werden

---

[1] E. Weber, Eine physiologische Methode, die Leistungsfähigkeit ermüdeter menschlicher Muskeln zu erhöhen. *Dies Archiv.* 1914. Physiol. Abtlg. S. 385.

könne, wodurch die ergographische Kurve auch eine Änderung erfahren müsse. Wie diese Fehlerquelle ausgeschlossen wurde, sei später mitgeteilt. Bei den meisten Versuchen wurde dann noch eine dritte Arbeitskurve geschrieben, nachdem die Versuchsperson sich eine halbe Stunde auf einem Stuhle sitzend ausgeruht hatte.

Um nicht zu große Ausschläge auf der Trommel zu erhalten, wurden zunächst Ermüdungskurven bei starker Gewichtsbelastung (2 kg) und bei mittelstarker elektrischer Reizung aufgenommen. — (Nachdem die Arbeit bei Ausbruch des Krieges abgeschlossen war, gingen die ergographischen Kurven inzwischen verloren, so daß ihre Mitteilung leider nicht möglich ist. Herr Prof. Weber hatte während des Fortschreitens der Arbeit die gewonnenen Kurven durchgesehen und sich von ihrer Beweiskraft überzeugt). — Die nach einer Stunde aufgenommene zweite Kurve ergab nun eine wesentliche Verringerung der Größe der einzelnen ergographischen Ausschläge, wobei auch die Zahl der Partialarbeiten hinter der ersten Kurve erheblich zurückblieb. Die nach einer halben Stunde aufgenommene dritte Kurve (vgl. oben) zeigte, daß die Muskeln sich wieder erholt hatten, so daß ihre Leistung weit größer ist als bei der zweiten Kurve ohne jedoch, wie erklärlich, die Größe der ursprünglichen Muskelkraft zu erreichen. In Zahlen ausgedrückt verhalten sich die drei Kurven, was die Summe der Partialarbeiten anbetrifft, annähernd wie $1 : {}^1/_2 : {}^2/_3$. Im Gegensatz zu den Mossoschen Ergebnissen zeigte sich hier, wie bei allen anderen Versuchen, daß die durch psychische Arbeit bedingte Ermüdung der Muskulatur schon durch relativ kurze Pausen gebessert werden kann. — Um deutlichere Kurven zu erhalten, wurde bei den weiteren Versuchen die Belastung vermindert (1 kg) und die tetanische Reizung der Muskel je eine Minute lang ausgeführt, um dann die Muskel je eine halbe Minute ausruhen zu lassen. Durch die eingeschalteten Ruhepausen brauchten die Muskeln im ganzen 9 Minuten bis zur vollkommenen Ermüdung. Dann wurde eine Stunde lang psychisch gearbeitet und bei der zweiten Kurve genügte bereits eine Reizung von 5 Minuten, um die Ermüdungskurve zu erhalten. Nach einer Ruhepause von einer halben Stunde zeigt die dritte Kurve nach Reizung von 7 Minuten keine Ausschläge mehr.

Wie bereits vorher erwähnt, könnte die bei der Ausführung der psychischen Arbeit möglicherweise mitspielende körperliche Anstrengung (Schreiben, Sitzen) als Faktor der motorischen Minderleistung in Betracht kommen. Um diese Fehlerquelle auszuschließen, wurde die Versuchsanordnung dahin geändert, daß die psychische Arbeit ausgeführt wurde, während die Versuchsperson auf einem Ruhebett lag. Um die Schreibebewegungen auszuschließen, wurden nicht Gleichungen gerechnet, sondern in Additions-

heften schwere Additionen ausgeführt. Zur Kontrolle der Arbeit mußte die Versuchsperson die Ergebnisse der Rechenaufgaben jedesmal mitteilen. Auch unter diesen Bedingungen zeigte sich das gleiche Ergebnis wie bei den früheren Kurven. Direkt nach der geistigen Arbeit eine deutliche Herabsetzung der Muskelkraft, die durch eine Ruhepause gebessert wird, ohne die ursprüngliche Größe der Leistung zu erreichen.

Durch diese Versuche ist sichergestellt, daß durch eine rein psychische Arbeit ein ermüdender Einfluß auf den peripheren Teil der Muskelarbeit ausgeübt wird. Die Herabsetzung der muskulären Leistungsfähigkeit kann nur durch die psychische Tätigkeit bedingt sein, da jeder andere zentrale wie periphere Einfluß ausgeschlossen worden ist. Dieses Ergebnis dürfte wohl dadurch zu erk ären sein, daß sich durch die psychische Arbeit Ermüdungsstoffe im Gehirn bilden, die auf dem Wege der Zirkulation in die Muskulatur gelangen, um dort ihre ernährungsstörende und infolgedessen ermüdende Wirkung zu entfalten.

Zum Schluß möchte ich mir erlauben, Hrn. Prof. E. Weber für die freundliche Unterstützung bei der Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

Die Physiologie der Atrioventrikularverbindung des Kaltblüterherzens.

Von

Dr. med. **Ludwig Haberlandt**,[1]
Privatdozent der Physiologie an der Universität Innsbruck.

(Hierzu Taf. I.)

Inhaltsübersicht.

I. Einleitung.

In der vorliegenden Schrift soll eine Übersicht gegeben werden über die Ergebnisse der physiologischen Forschung auf einem Gebiete, das, abgesehen von einzelnen früheren Untersuchungen, erst in neuester Zeit systematisch bearbeitet worden ist: Es ist dies die Physiologie der Atrioventrikularverbindung des Kaltblüterherzens. Es mag wohl als eine auffallende Tatsache erscheinen, daß gerade dieses wichtige Gebiet der Herzphysiologie einer eingehenden Bearbeitung bis auf die letzten Jahre ermangelte, während die Verhältnisse am Säugerherzen in dieser Hinsicht schon recht genau und gründlich studiert worden sind. Daß sich das Interesse der Physiologen, z. T. im Vereine mit den Pathologen, vor allem zunächst nach dieser Richtung hin bewegte, ist ja wohl dadurch begründet und verständlich, daß hier die Beziehungen zur menschlichen Pathologie am nächsten und unmittelbarsten vorliegen. Und doch hat es sich auf allen Teilgebieten der Physiologie, und gewiß nicht zum mindesten in der Herzphysiologie immer wieder von neuem auf das Eindringlichste gezeigt, daß unzweifelhaft jene Forschungsweise am besten und klarsten Einblick in das Geschehen und die Funktion der lebenden Organe gewährt, die sich zunächst mit dem Studium der niedriger organisierten Tierklassen

[1] Diese Abhandlung ist auch als selbständige Schrift (Preis M. 6,—) im Verlage dieser Zeitschrift erschienen.

beschäftigt, um dann von den gewonnenen Gesichtspunkten aus und bei richtiger, kritischer Beurteilung der gefundenen Tatsachen zur Ergründung der Funktionsweise an den höher und höchst organisierten Tiergattungen überzugehen. Die Organe letzterer weisen ja infolge der immer weitergehenden, speziellen Anpassungen an die verschiedenen Lebensbedingungen und durch die stets vorschreitende Differenzierung ihrer Teile, die vor allem dem Prinzip der Arbeitsteilung unterliegt, einen immer komplizierteren anatomischen Bau auf, und stellen daher auch der physiologischen Forschung entsprechend größere Schwierigkeiten entgegen. So ist es auch eine durchgreifende Erscheinung in unserer Wissenschaft geworden, daß die wichtigsten und fundamentalsten Tatsachen der Physiologie meist zunächst an niedriger organisierten Tieren, vor allem den Kaltblütern, gefunden wurden, die sich ja durch ihre Eigenschaft des „Überlebens" so sehr für das physiologische Experiment eignen. Von diesen Erkenntnissen ausgehend, führt dann ergänzend und weiterbauend die Experimentaluntersuchung hinüber in das Reich der Warmblüter und im besonderen der Säugetiere, deren physiologische Erforschung dank der bedeutenden technisch-methodischen Vervollkommnung in neuerer Zeit wesentlich erleichtert worden ist.

Aber eben auf dem hier in Rede stehenden Gebiete der Herzphysiologie hat die Forschung wiederholt den umgekehrten Weg genommen — und dies wohl nicht immer zu ihrem Vorteil. Gerade hier, da so viele Fragen nicht nur von rein theoretischer, sondern vielmehr oft auch von großer praktischer Bedeutung sind, muß ein möglichst weit umfassender und klarer Überblick über die Fülle der Einzelerscheinungen als besonders nötig bezeichnet werden. Steht doch im Hintergrund sämtlicher hier einschlägigen Fragen vor allem das noch immer nicht endgültig gelöste Problem des Wesens der Herztätigkeit, so sehr auch die Entscheidung zwischen neurogener und myogener Theorie unsere ganze Auffassung vom Mechanismus des Lebens wird beeinflussen müssen und daher auch vom allgemein biologischen Standpunkt aus in hohem Maße wünschenswert erscheinen mag.

Wie auf allen anderen Gebieten der physiologischen Wissenschaft so muß besonders auch in der Herzphysiologie die vergleichende Betrachtungsweise möglichst eifrig gepflegt werden, soll die Erforschung der Funktionsweise des Herzorganes auf eine genügend breite Basis gestellt werden. Besonders hinsichtlich des atrioventrikulären[1]) Verbindungssystemes erscheint jedoch gegenüber den zahlreichen und

[1]) Im folgenden abgekürzt: a. v.

erfolgreichen vergleichend-anatomischen Untersuchungen der letzten Jahrzehnte die vergleichend-physiologische Forschung recht rückständig. Ja, dieselbe ist eigentlich erst in den letzten Jahren systematisch in Angriff genommen worden, während sich bisher, von einigen wichtigen Untersuchungen abgesehen, die Arbeit der Physiologen fast ausschließlich auf Vertreter der höchsten Tierklassen, der Warmblüter und spez. der Säuger, beschränkte. Die Ergänzung der hier gemachten Befunde durch eingehende Untersuchungen, vor allem an verschieden hochdifferenzierten Kaltblütern, war aber aus zweierlei Gründen dringend zu erstreben: Erstens, um den schon nicht selten gemachten Fehler voreiliger Verallgemeinerungen zu verhüten, und zweitens nicht minder deshalb, um so die allen phylogenetischen Entwicklungsstufen gemeinsamen und daher prinzipiell wichtigsten physiologischen Eigenschaften des untersuchten anatomischen Substrates aufzudecken und danach richtig würdigen zu können.

Im folgenden sollen zunächst die Ergebnisse der anatomischen Untersuchungen, soweit sie sich auf das a. v. Verbindungssystem des Kaltblüterherzens beziehen, in Kürze Besprechung finden. Daran anschließend wird dann über die physiologischen Arbeiten auf diesem Gebiete ausführlicher berichtet werden. Es sollen dabei auch im wesentlichsten die Beziehungen gestreift werden, in denen diese Forschungen zu den Untersuchungen am Warmblüterherzen stehen, von denen sie ja nicht losgelöst werden können und sollen. Im Gegenteil gewinnen ja doch die meisten Befunde gerade durch den Vergleich und die Gegenüberstellung an Interesse und sowohl die gemeinsamen als auch die voneinander abweichenden Ergebnisse tragen zur Vervollständigung und richtigen Konstruktion unseres Gesamtbildes bei.

Schließlich soll nach einer zusammenfassenden Übersicht der hier in Betracht kommenden physiologischen Tatsachen in einem letzten Abschnitt auf die Beziehungen hingewiesen werden, in denen die besonders in jüngster Zeit gemachten Befunde über die Physiologie der A. V.-Verbindung des Kaltblüterherzens zur neurogenen und myogenen Lehre der Herztätigkeit im allgemeinen stehen und wie sie in bezug auf diese beiden, miteinander immer noch streitenden Theorien gewertet werden müssen. Damit erscheinen dann diese Arbeiten nicht nur als Bereicherung der Spezialforschung an und für sich, sondern zeigen sich so außerdem in ihrer Bedeutung für die allgemeine Herzphysiologie und damit auch für unsere gesamte Anschauung über das Wesen des Lebensmechanismus überhaupt.

II. Anatomische Untersuchungen.

Lange Zeit war unter den Anatomen und Physiologen die Anschauung herrschend, daß das Muskelsystem von Vorhöfen und Kammer bei den höheren Tieren (Amphibien aufwärts) vollkommen getrennt sei, daß also zwischen beiden Herzabschnitten keinerlei muskuläre Verbindung bestehe, wie sie bei dem noch einfach gebauten Fischherzen allerdings schon lange bekannt war. Zwar soll bereits Paladino (1876)[1]) eine muskulöse Verbindung zwischen Vorhöfen und Ventrikel beim menschlichen und bei verschiedenen Wirbeltierherzen gesehen haben, jedenfalls konnten aber seine Befunde nicht zu allgemeiner Kenntnis gelangen und schienen ganz dem Vergessen anheim zu fallen. Erst durch die Untersuchungen Gaskells (1883) wurde die Aufmerksamkeit der Forscher wieder auf diese Verhältnisse gerichtet, die sich im weiteren von so großer Bedeutung erwiesen.

Gaskell stellte fest, daß im Frosch- und Schildkrötenherzen ebenso wie zwischen Venensinus und Vorhöfen so auch zwischen letzteren und der Kammer muskulöse Verbindungsfasern bestehen. Er legte dar, daß bei den genannten Kaltblüterherzen das a. v. Ostium von zirkulär angeordneten Muskelfasern umgeben ist, in welche einerseits die maschenartig gebaute Vorhofsmuskulatur einstrahlt und von der anderseits die Ventrikelfasern zum Teil ihren Ausgang nehmen. Diese ringförmige Verbindungsmuskulatur hat nach Gaskell im Vergleich zu den muskulösen Elementen des Ventrikels histologisch einen mehr embryonalen Charakter: Die Muskelzellen zeigen zwar mehr oder minder deutlich Querstreifung, sollen aber von mehr spindelförmiger Gestalt sein und größere Kerne aufweisen. Darin würden sie den weniger entwickelten Muskelelementen des Sinus venosus gleichen.

Zehn Jahre später entdeckte dann His jun. (1893) auch am Säuger- und Menschenherzen eine muskuläre Verbindung zwischen Vorhof und Kammer, das durch das nach ihm benannte A. V.-Bündel gegeben erscheint. His wies aber auch in Bestätigung des ersten Gaskellschen Befundes eine analoge a. v. Muskelverbindung am Froschherzen nach, die von ihm der zirkulären Anordnung halber als „Atrioventrikulartrichter" bezeichnet wurde. Derselbe verdankt einer trichterförmigen Einstülpung der Vorhofsmuskulatur seine Ausbildung bezw. er entsteht, richtiger ausgedrückt, durch das Hinüberwachsen der Herzkammer über den nicht mehr wachsenden Ohrkanal. Der A. V.-Trichter zieht als wohlbegrenztes anatomisches Gebilde von den Vorhöfen an den A. V.-Klappen vorüber zum Ventrikel

---

[1]) Die eingeklammerten Jahreszahlen beziehen sich auf das chronologisch geordnete Literaturverzeichnis.

herab, von dem er zunächst noch durch eine bindegewebige Scheide getrennt ist, während er erst etwas weiter unterhalb des a. v. Klappenapparates in die Kammermuskulatur übergeht.

In der schematisierten Tafelfig. 1, die der Hisschen Arbeit entnommen ist, sind die topographischen Verhältnisse übersichtlich dargestellt.

Ein deutlicher histologischer Unterschied zwischen dem Bau des A. V.-Trichters und der übrigen Herzmuskulatur konnte zwar von verschiedenen späteren Forschern (Bräunig, Keith, Flack und Mackenzie) nicht festgestellt werden, andere Untersucher (W. Ewald, Külbs, Lange, Laurens) haben dagegen ebenfalls histologische Differenzen gefunden (s. u.).

In der Tafelfig. 2 ist ferner das Mikrophotogramm[1]) eines Präparates wiedergegeben, das einer Schnittserie entstammt, wie ich solche zu Beginn meiner Untersuchungen über die Physiologie des A. V.-Trichters des Froschherzens in größerer Anzahl hergestellt hatte. Die unfarbige Reproduktion läßt zwar die a. v. Verbindungsmuskulatur weniger schön und auffallend hervortreten, als dies die mikroskopische Betrachtung der Präparate bei Anwendung der van Giesonfärbung zeigt, wobei die bindegewebige Einscheidung des A. V.-Trichters sehr deutlich zum Ausdruck kommt. Trotzdem sind aber auch so die beiden vom Schnitt getroffenen Teile des A. V.-Trichters gut zu erkennen.

Tafelfig. 3 zeigt ferner das ganz entsprechende Bild eines Frontalschnittes des Schildkrötenherzens nach Külbs, das ebenfalls den Verlauf des A. V.-Trichters deutlich zur Darstellung bringt.

Durch die Arbeit von His, mit der gleichzeitig und unabhängig davon eine eingehende Untersuchung von St. Kent (1893) über die muskulöse Verbindung zwischen Vorhof und Ventrikel beim Kalt- und Warmblüter erschienen war, wurde das Interesse der Forscher dann vor allem auf die das Säugerherz betreffenden Verhältnisse gerichtet. Durch Retzer (1904 und 1908), Bräunig (1904), Humblet (1904), Tawara (1906), Keith (1906), Flack (1906), Fahr (1907 und 1908), Mönckeberg (1908), Aschoff (1909), Holl (1911) u. A. sind die Untersuchungen auf die verschiedenen Vertreter der Säuger einschließlich des Menschen ausgedehnt und für dieselben genaue Befunde erhoben worden. Demgegenüber stehen die Arbeiten, die sich in dieser Hinsicht auf das Kaltblüterherz beziehen, entschieden in der Minderzahl und stammen hauptsächlich erst aus den letzten Jahren.

Zunächst findet sich in der Literatur eine ausführliche Arbeit von Greil (1903), die vom vergleichend anatomischen und entwicklungsgeschicht-

---

[1]) Für die Aufnahme bin ich Hrn. Prof. Dr. A. Wagner zu bestem Dank verpflichtet.

lichen Standpunkt aus die Anatomie des Reptilienherzens behandelt. Mit Rücksicht auf die Entstehung der muskulösen Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammer aus dem Canalis auricularis bezeichnet Greil dieselbe als Aurikular- (oder Atrioventrikular-) Ring, den er sowohl in den einzelnen Embryonalstadien als auch im ausgebildeten Zustande des Herzens verschiedener Reptilien nachzuweisen vermochte; (und zwar vor Allem bei mehreren Lacertaarten, ferner bei Anguis fragilis, Tropidonotus natrix, Emys europaea, Testudo graeca, Krokodiliern u. a.).

Ein Jahr nach Veröffentlichung der Greilschen Arbeit erschien eine Untersuchung von Bräunig (1904) über muskulöse Verbindungen zwischen Vorkammer und Kammer bei verschiedenen Wirbeltierherzen, die der Verfasser unter Engelmanns Leitung ausgeführt hatte. Es wurden sowohl Herzen von Kaltblütern als auch von Säugetieren histologisch untersucht, und zwar von ersteren je zwei Herzen vom Wassermolch und vom Frosch, sowie ein Ringelnatterherz. An diesen Herzen konnte er am Grunde des Sulcus circularis cordis eine dünne Muskelschicht nachweisen, die unmittelbar an die Herzinnenfläche angrenzt und das venöse Ostium rings umgibt; mit ihr steht sowohl die Muskulatur der Atrien als auch die der Kammer im direkten Zusammenhang und stellt diese A. V.-Verbindung einen Überrest des ursprünglichen Canalis auricularis dar, der beim Fischherzen dauernd bestehen bleibt. Bräunig vermochte jedoch an dieser a. v. Übergangsmuskulatur keine besonderen histologischen Unterschiede gegenüber der Vorhof- und Kammermuskulatur festzustellen, er gibt aber an, daß erstere lockerer gefügt und von mehr interstitiellem Bindegewebe durchsetzt sei.

Bezüglich des Fischherzens liegen spätere anatomische Untersuchungen von Keith und Flack (1907), am Aalherzen ausgeführt, vor. Das Fischherz weist die primitivste Form auf, welche die Entstehung aus dem ursprünglichen einfachen Herzschlauch noch deutlich erkennen läßt. Doch ist auch hier bereits die Ausbildung der vier Hauptabschnitte des Herzens, und zwar des Sinus venosus, Atrium, Ventrikel und Bulbus arteriosus, eingetreten. Der Vorhof des Fischherzens stellt dabei eine Ausstülpung des Canalis auricularis dar, durch den der Sinus venosus mit dem Ventrikel verbunden wird. Aus diesem Ohrkanal geht ferner die a. v. Verbindungsmuskulatur („A. V.-Ring“ und „A. V.-Trichter“) hervor, die das a. v. Ostium rings umgibt und sich in die Muskelmasse der Herzkammer einstülpt, wie dies aus der schematischen Tafelfig. 4 nach Keith und Flack, von Mangold modifiziert, zu ersehen ist.

Nach Keith und Flack sind die Muskelzellen der A. V.-Verbindung des Aalherzens im Vergleich zur anderen Herzmuskulatur breiter und schwächer färbbar, auch weisen sie eine geringere Querstreifung auf und sind

mit auffallend großen Kernen versehen. Wie Keith und Mackenzie (1910) angegeben haben, wird dieses „nodale Gewebe" von dem das a. v. Ostium umgebenden Nervenplexus mit zahlreichen Nervenfasern versorgt.

Stellt im Aalherzen die muskuläre Verbindung zwischen Vorhof und Kammer einen in sich vollkommen geschlossenen Ring dar, so kann nach Mackenzie (1913) bei anderen Fischarten derselbe auch schon teilweise, und zwar an den Klappenansatzstellen unterbrochen sein.

Die Untersuchungen von Keith, Flack und Mackenzie haben ferner ergeben, daß im Amphibienherzen die Muskulatur des A. V.-Trichters in ihrem histologischen Bau nicht von jenem der übrigen Herzteile abweicht, wie dies auch schon Bräunig hervorgehoben hatte.

Zu besonderen Ergebnissen, die von den Befunden der früheren Autoren nicht unwesentlich abweichen, sind weiter Külbs und Lange (1911) in Untersuchungen über die muskuläre A. V.-Verbindung des Eidechsenherzens gekommen. Nach ihrer Darstellung findet an der A. V.-Grenze ein Übergang der muskulösen Vorhofswand in eine breite, quergestreifte Muskellage statt, die sich erst im mittleren Kammerdrittel mit der Ventrikelmuskulatur verbindet. Dieser A. V.-Trichter stellt jedoch keine ringförmig geschlossene Muskelmasse dar, sondern soll an der Vorderseite durch die großen Arterien, an der Hinterseite durch die Muskulatur der Kammer in zwei Halbrinnen geteilt sein; dagegen beschreibt auch Külbs (1912) den A.V.-Trichter des Schildkrötenherzens als vollkommen geschlossenes Gebilde. Ferner erfolge auch am Froschherzen die Verbindung des Ohrkanales mit der Muskelwand der Herzkammer nur an den seitlichen Partien, indem sich vorn und hinten ein Bindegewebsstreifen dazwischen schiebt, wodurch der A. V.-Trichter in zwei halbrinnenförmige Anteile zerfallen würde. Weiter gibt Külbs (1913) an, daß zum Unterschied vom Fischherzen sowohl bei Amphibien als auch bei Reptilien der A. V.-Trichter an der vorderen Herzseite erst weiter unten, an der hinteren Herzseite dagegen schon etwas früher in die Ventrikelmuskulatur übergehe. In histologischer Hinsicht sollen sich die Zellen der a. v. Verbindungsmuskulatur u. a. vor allem durch die geringe Affinität zu Protoplasmafarbstoffen von den muskulösen Elementen der übrigen Herzabschnitte unterscheiden.

Auffallenderweise konnten Külbs und Lange in der Übergangsmuskulatur des Eidechsenherzens keine nervösen Elemente auffinden, während schon Keith und Mackenzie festgestellt hatten, daß ebenso wie beim Fischherzen auch im Eidechsen- und Schildkrötenherzen die a. v. Verbindungsmuskulatur reichlich mit Nervengewebe versehen ist. Desgleichen hatte auch bereits F. B. Hofmann (1898 und 1902) nachgewiesen, daß im Froschherzen der A. V.-Trichter in gleich dichter Weise von Nerven-

fasern umsponnen ist wie die Muskulatur der Vorhöfe und des Ventrikels.

Ferner hat Laurens (1913) im Anschluß an eine physiologisch-experimentelle Arbeit, auf die an späterer Stelle Bezug genommen werden soll, das Eidechsenherz einer histologischen Untersuchung unterzogen und dabei gefunden, daß der A. V.-Trichter zahlreiche Nervenfasern mitführt, von denen manche im Trichter auf ihrem Wege vom Vorhof zur Kammer genau verfolgt werden konnten. Weiter sind nach Laurens Ganglienzellen im A. V.-Trichter nur in geringer Anzahl vorhanden, während die Ganglienzellengruppen der A.-V.-Gegend an einigen Stellen zur Trichtermuskulatur in naher örtlicher Beziehung stehen. Letztere bildet nach den Untersuchungen von Laurens in Übereinstimmung mit den früheren Befunden, jenen von Külbs und Lange abgesehen, in der A.V.-Gegend noch einen vollkommen geschlossenen Ring und ist von der Muskulatur der Herzkammer durch eine nicht unbeträchtliche Bindegewebsschicht geschieden. Der A.V.-Trichter wird dann zuerst dorsalwärts dünner und geht hier früher in die Muskulatur des Ventrikels über als auf der ventralen Seite, wie dies auch Külbs angegeben hatte. Der Übergang der seitlichen Trichteranteile in die Kammermuskulatur erfolgt nach Laurens noch weiter unten. Was schließlich die histologische Beschaffenheit der Trichtermuskulatur betrifft, so konnte auch Laurens eine geringer ausgesprochene Querstreifung, schwächere Färbbarkeit und das Vorhandensein besonders großer Kerne feststellen.

Endlich hat neuerdings Lange (1914) über anatomische Untersuchungen, das a. v. Verbindungssystem der Kalt- und Warmblüterherzen betreffend berichtet. Von ersteren untersuchte er die griechische Landschildkröte, Alligator, Unke, Kröte, Axolotl, Aal, Thunfisch, Forelle und Kegelrobbe; bei sämtlichen genannten Tieren konnte er das Vorhandensein einer muskulösen Vorhof-Kammerverbindung nachweisen. Auch Lange gibt an, daß sich in histologischer Hinsicht die Fasern der A. V.-Verbindung bei den Kaltblütern zwar weniger auffallend als im Warmblüterherz von der übrigen Herzmuskulatur unterscheiden, daß sie sich aber doch letzterer gegenüber einerseits durch größeren Sarkoplasmareichtum, anderseits durch Fibrillenarmut auszeichnen.

Durch all' die hier besprochenen Untersuchungen ist demnach das Vorhandensein einer a. v. neuromuskulären (d. h. aus Nerven- und Muskelgewebe bestehenden) Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammer des Kaltblüterherzens mit voller Sicherheit erwiesen. So wenig wie es eine

rein muskuläre Verbindung zwischen den genannten Herzteilen gibt, ebensowenig kann mehr die Annahme einer ausschließlich nervösen Verbindung derselben zu Recht bestehend gelten, wie eine solche z. B. für das Schildkrötenherz Dogiel und Archangelsky (1906 und 1907) gefunden haben wollten. Nach ihnen sei dieselbe durch jenes oft starke Nervenbündel gegeben, das im sog. Ligamentum dorsale (auch atrio- s. sinoventriculare genannt) an der dorsalen Herzfläche vom Sinus über die Vorhöfe zur Kammer verläuft und bereits von Gaskell als „Koronarnerv" beschrieben wurde. Auch weist Dogiel auf ein reiches Nervengeflecht an der hinteren Fläche der Atrien hin, das einerseits auf die Ventrikeloberfläche hinüberzieht, anderseits seine Fasern gegen die Kammerhöhle zu entsendet.

War von Dogiel eine muskulöse Verbindung von Vorhöfen und Kammer am Schildkrötenherzen geleugnet worden, so gab bald darauf Imchanitzky (1909) an, daß auch im Eidechsenherzen eine solche nicht bestehe.

Derartige, vom einseitigen rein neurogenen Standpunkt aus erhobene, angebliche Befunde können aber an der wahren, gewonnenen Erkenntnis, die wir den hier erörterten Arbeiten verdanken, nichts ändern. Die physiologische Forschung muß allein von den sicheren Ergebnissen der vorurteilslosen anatomischen Untersuchungen ausgehen, soll sie ihre Arbeit auf fester Grundlage leisten und so immer tieferen Einblick in das Geschehen der lebendigen Gebilde gewähren können. Jede Theorie der Herztätigkeit muß demnach der gesicherten Tatsache gerecht werden und ihr volle Würdigung widerfahren lassen, daß zwischen Vorhöfen und Kammer nicht nur im Warmblüter-, sondern auch im Kaltblüterherzen eine verschieden gebaute Verbindung neuromuskulärer Art — im oben angegebenen Sinne — besteht, deren physiologische Erforschung im folgenden des Näheren geschildert werden soll.

III. Physiologischer Teil.

A. Bisherige Forschungsergebnisse.

Die funktionelle Sonderstellung der A. V.-Gegend des Froschherzens war schon durch die grundlegenden Versuche von Stannius (1852) bekannt geworden, welche die Befähigung dieser Herzpartie zu automatischer Reizbildung kennen lehrten. Später hatte H. Munk (1878) dieselbe einer genaueren Untersuchung unterzogen und gefunden, daß sich in der A. V.-Gegend eine bestimmte Stelle der Ventrikelbasis vorfindet, deren einmalige mechanische Reizung im Herzstillstand nach der 1. Stanniusschen Ligatur oder dem 1. Stanniusschen Schnitt eine verschieden lange Reihe von Kammer- und Vorhofkontraktionen zur Folge hat, während die Reizung irgend

einer anderen Ventrikelstelle stets nur eine einzelne Kontraktion bedingt. Diese Erscheinung wurde später nach ihrem Entdecker als „Munksches Phänomen" bezeichnet. Als Reizbildungsort wurden für jene automatischen Pulsreihen schon von Munk die Bidderschen A.V.-Ganglien angenommen. Diese Anschauung teilte auch Marchand (1878), der die hier in Betracht kommenden Verhältnisse eingehend untersuchte. Und auch spätere Forscher wie Langendorff (1884), Kaiser (1892 und 1894) u. A. sahen, auf dem Standpunkt der neurogenen Theorie der Herztätigkeit stehend, in diesen Ganglien den Ursprungsort jener selbständigen Automatie, wie dieselben seit den Untersuchungen von Munk, Marchand u. A. auch für die Erregungsleitung von Vorhof zur Kammer als maßgebend in Anspruch genommen waren.

Demgegenüber ist nun durch Gaskell (1883) erwiesen worden, daß es nicht die Biddersche Ganglienanhäufung, sondern die zuerst von ihm aufgefundene A. V.-Verbindung, der sog. A. V.-Trichter, ist, der als anatomisches Substrat für die Erregungsleitung von den Vorhöfen zur Kammer ausschließlich in Betracht kommt. Nach den Untersuchungen Gaskells haben sich nämlich die Bidderschen Ganglien für die a. v. Überleitung der spontanen Herzreize entgegen der früheren, allgemein geltenden Anschauung für bedeutungslos gezeigt, da eine vorsichtige Entfernung der Ganglien die Erregungsleitung nicht aufhebt.[1]) Desgleichen erwies sich auch die Exstirpation des unteren Stückes des Septum atriorum mit den darin befindlichen Nervenstämmchen in dieser Hinsicht belanglos.[2]) Die a. v. Reizleitung ist vielmehr nur dann in Form des sog. „Blockes" gestört oder ganz aufgehoben, wenn der A. V.-Trichter mehr oder minder stark verletzt wird. Aber auch schon bei vollkommenem Unversehrtsein desselben findet nach Gaskell die a. v. Erregungsleitung in ihm wegen seiner mehr embryonalen Beschaffenheit langsamer statt, so daß dadurch die an der A. V.-Grenze auftretende Verzögerung des Kontraktionsablaufes bedingt wird.

Bald nach den ersten grundlegenden Untersuchungen Gaskells war eine eingehende Arbeit von Mc William (1885) erschienen, welche die Reizbildung und Erregungsleitung im Aalherzen behandelte. Da das Fischherz noch die einfachste Form darstellt, mußte die genaue Untersuchung der physiologischen Verhältnisse an diesem Versuchsobjekt als sehr wichtig

[1]) Dies hatte übrigens schon früher Bidder selbst (1852) beobachtet und es als sehr wahrscheinlich bezeichnet, daß die a. v. Erregungsleitung rein muskulär erfolge.

[2]) Daß Durchschneidung der Scheidewandnerven die a. v. Koordination nicht beeinflußt, war auch von Eckhardt (1858) bereits festgestellt worden.

erscheinen. Um die Ausbildung der Automatie im Aalherzen festzustellen, zerteilte Mc William dasselbe in seine verschiedenen, schon differenzierten Abschnitte und konnte so ihre Befähigung zu automatischer Reizbildung miteinander vergleichen.[1]) Es zeigte sich dabei, daß nach der Zerlegung des Herzens zuerst der ostiale Anteil des Sinus zu schlagen begann und zwar mit gleicher Frequenz wie das unversehrte Herz. Bald darauf setzte dann auch der interjugulare Sinusabschnitt mit seiner Pulsation ein, die zunächst langsamer erfolgte, sich allmählich aber beschleunigte, um schließlich beinahe die Schlagfrequenz des ostialen Teiles zu erreichen. Sodann fingen die basale Vorhofswand, die im Aalherzen noch eine direkte Verbindung zwischen Sinus und Kammer darstellt, sowie der Canalis auricularis rhythmisch zu pulsieren an, wobei die Schlagfolge jedoch dauernd schon eine geringere Frequenz aufwies. Nach längerem Stillstand trat dann ferner auch an den Vorhöfen eine automatische Kontraktionsfolge ein, deren anfänglich sehr niedrige Frequenz sich allmählich steigerte, jedoch lange nicht jene des Sinusgebietes erlangte. Zuletzt begann endlich auch die Kammer sehr langsam spontan zu schlagen, in einigen Fällen verharrte sie aber dauernd in Stillstand. Aus diesen Befunden geht demnach hervor, daß im Fischherzen die Befähigung zu automatischer Reizbildung vom venösen gegen das arterielle Ende zu stetig abnimmt. Normalerweise geht nach Williams Untersuchungen auch im Aalherzen wie im Amphibien- und Reptilienherzen die Erregung von der Stelle aus, wo die großen Venen in den Sinus einmünden; hier beginnt in beiden Ostien zugleich die normale Herzsystole. Bezüglich der weiteren Erregungsleitung im Aalherzen stellte ferner William fest, daß dazu jeder Streifen der Vorhofswand befähigt ist, also auch jener basale Abschnitt, der das Sinusgebiet unmittelbar mit dem Ventrikel verbindet.

Wie bereits Gaskell (1883) für das Schildkrötenherz, so konnte später F. B. Hofmann (1895) auch am Froschherzen nachweisen, daß nach vollkommener Durchtrennung der Vorhofswände auch bei Erhaltenbleiben der Vorhofsscheidewand und der in ihr verlaufenden Scheidewandnerven die a. v. Erregungsleitung dauernd verloren gegangen ist. Bei der Fortleitung der spontanen im Sinusgebiet entstehenden Herzreize von den Vorhöfen zur Kammer sind demnach jene Nerven sicher ganz unbeteiligt und kommen dafür vielmehr — allgemein gesagt — Bahnen in Betracht, welche diffus in den Vorhofswänden verbreitet sind.

Schon vorher hatte Engelmann (1894) die Fortpflanzungs-

---

[1]) An verschiedenen Fischherzen hatte schon C. E. Hoffmann (1860) Querteilungen an der A. V.-Grenze ausgeführt und dabei das Auftreten von automatischen Kontraktionen gesehen.

geschwindigkeit der Erregung in den Vorhöfen mit Hilfe des Suspensionsverfahrens messend bestimmt und erblickte in dem niedrigen gefundenen Wert (etwa 9 cm in der Sekunde) einen der hauptsächlichsten Beweise für die Annahme, daß auch die noch langsamere a. v. Erregungsleitung nicht auf nervösem Wege, sondern in der muskulären Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammer statt hat.

Ferner konnte später Gaskell (1900) feststellen, daß auch die automatische Reizbildung in der A. V.-Gegend nicht von den Bidderschen Ganglien, sondern von der A. V.-Verbindung ausgeht. Er zeigte, daß bei mechanischer Einzelreizung der verschiedenen Teile des aufgeschnittenen Froschherzens, wie er sie bei Lupenvergrößerung durch Nadelstiche ausführte, automatische Pulsreihen nur dann auftraten, wenn dieselben den A. V.-Trichter trafen, während analoge Reizungen der übrigen Vorhofs- und Kammermuskulatur nur einfache Kontraktionen hervorriefen; wurden dagegen die Bidderschen Ganglien vom Stich getroffen, so erfolgte überhaupt keine Herzkontraktion.

Den so erbrachten Nachweis, daß das Munksche Phänomen und damit auch der Erfolg der zweiten Stanniusschen Ligatur nicht auf Reizung der Bidderschen Ganglien beruht, wie es die Ganglientheorie annahm, sondern durch Erregung des A. V.-Trichters bedingt ist, hat später W. Ewald (1902) unter der Leitung von Bernstein und v. Tschermak mit Sicherheit bestätigen können. Er benützte zur Reizung ebenfalls Nadelstiche, durch die am stillstehenden Froschherzen längere automatische Pulsreihen von 20 bis 80 Einzelkontraktionen ausgelöst werden konnten, wenn die Stichverletzung innerhalb und unterhalb der A. V.-Grenze links vom Bulbus statthatte. Ewald unterzog die zu seinen Versuchen benützten Herzen sodann einer mikroskopischen Untersuchung[1]), die zu dem Ergebnis führte, daß der Stich stets den A. V.-Trichter getroffen hatte, die Ganglien dagegen mit Ausnahme von zwei Versuchen unverletzt geblieben waren. Um an den Präparaten die Lage des Stiches genau nachträglich feststellen zu können, wurde durch den Stichkanal ein Kokonfaden hindurchgezogen, so daß dann jener deutlich gekennzeichnet war.

Für die nach der ersten Stanniusschen Ligatur nach längerem Herzstillstand u. U. spontan auftretenden Kontraktionen hat dann Engelmann (1903) durch genaue zeitmessende Versuche mit Hilfe der Doppelsuspension erwiesen, daß der Ort der automatischen Reizbildung im A. V.-

[1]) Gelegentlich derselben betont auch W. Ewald, daß sich die Trichtermuskulatur besonders hinsichtlich ihrer Färbbarkeit (speziell bei Osmiumpräparaten) deutlich vom Muskelgewebe des Ventrikels unterscheidet, insofern erstere heller gefärbt erscheint als letztere.

Trichter und zwar meist etwas kammerwärts gelegen ist, da die Vorhofpulse in der Mehrzahl der Fälle nicht genau gleichzeitig mit den Ventrikelkontraktionen auftreten, sondern denselben unmittelbar nachfolgen. Die so ermittelte Stelle der Reizentstehung liegt demnach im A.-V.-Trichter meist unterhalb des Ursprunges der A. V.-Klappen, also abseits von den Bidderschen Ganglien, die sich ja am oberen Rande der ersteren befinden. Nur in einzelnen seltenen Fällen fand Engelmann ein umgekehrtes Verhalten, wobei die Schlagfolge Vorhof-Kammer auch bei den nach der ersten Stanniusschen Ligatur spontan auftretenden Herzpulsen erhalten war, jedoch das zeitliche Intervall zwischen Vorhofs- und Ventrikelsystole viel kleiner ausfiel als normalerweise. In diesen Fällen muß demnach der Reizbildungsort im A. V.-Trichter vorhofwärts angenommen werden, so daß es dabei zu einer Vorhofautomatie kommt.

Bald darauf erschien aus dem Engelmannschen Institut eine Arbeit Brandenburgs (1904), worin gezeigt wurde, daß am Froschherzen bei mäßig starker Digitalinvergiftung leicht eine Umkehr der normalen Vorhof-Kammerschlagfolge eintreten kann, wenn durch eine reflektorische Vagusreizung, an einer Dünndarmschlinge ausgeführt, die Bildung der normalen Herzreize im Gebiete des Sinus venosus eine Hemmung erfährt. Diese umgekehrte Schlagfolge kann ferner auch auftreten, wenn durch den ersten Stanniusschen Schnitt das Sinusgebiet nicht wie im ersten Fall nur vorübergehend funktionell, sondern dauernd anatomisch ausgeschaltet wird. Infolgedessen bildet sich dann kein Herzstillstand aus, sondern Kammer und Vorhöfe schlagen ohne Unterbrechung weiter, wie dies früher oder später auch am unvergifteten Herzen oft der Fall ist. So wie Engelmann für diese nach dem ersten Stanniusschen Schnitt spontan auftretenden Herzpulse, so konnte Brandenburg auch bei seinen Versuchen mit Hilfe des Doppelsuspensionsverfahrens feststellen, daß der Reizbildungsort für jene automatische Schlagfolge zwischen Vorhöfen und Kammer im A. V.-Trichter gelegen sein muß. Durch die Einwirkung des genannten Giftes wird daselbst die Fähigkeit zu selbstständiger Automatie derart gesteigert, daß sie bei funktioneller Abschwächung der normalen Herzreizbildung im Sinusgebiet, wie dies durch die Vagusreizung bewirkt wird, die Oberhand gewinnt, bzw. bei vollkommener Ausschaltung der Sinusreize nach dem ersten Stanniusschen Schnitt sofort zu neuem Schlagen des sinuslosen Herzens Veranlassung gibt.

Für das Schildkrötenherz hatte übrigens bereits Gaskell gefunden, daß nach dem ersten Stanniusschen Schnitt kein Herzstillstand erfolgt, wenn man auf die A. V.-Grenze Atropin träufelt, wodurch daselbst die Automatiebildungsstätte im A.-V.-Trichter zu spontaner Tätigkeit

angeregt wird. Freilich ist, was schon F. B. Hofmann (1909) betont hat, sowohl bezüglich der Gaskellschen als auch der Brandenburgschen Befunde zu sagen, daß hier die Grenze zwischen dauernder chemischer Reizung und bloßer Steigerung der selbständigen automatischen Reizbildung sehr schwer zu ziehen und eine sichere Entscheidung zwischen beiden Möglichkeiten wohl überhaupt nicht zu treffen ist.

Letzterer Einwand entfällt bei den Versuchen Lohmanns (1904), welche ergaben, daß am vollkommen unversehrten und nicht vergifteten Herzen der Schildkröte in gleicher Weise wie beim Kaninchen im Vagusstillstande Vorhof- und Kammerpulse auftreten können, deren Entstehung in der A. V.-Verbindung gelegen sein muß, da sie fast gleichzeitig auftreten.

Während in der Regel die Frequenz der Herzpulse, die durch eine automatische Reizbildung in der A. V.-Verbindung entstehen, geringer ist als die bei normaler Sinustätigkeit vorhandene Häufigkeit der Herzschlagfolge, hatte später auch schon Lohmann (1907) am spontan schlagenden Froschherzen beobachtet, daß sich u. U. ohne merkliche Ursache eine so starke selbständige Vorhofautomatie ausbilden kann, daß dann Vorhöfe und Kammer schneller schlagen als das Sinusgebiet. In diesen Fällen muß demnach als Reizbildungsort der vorhofwärts gelegene Teil des A.V.-Trichters angesehen werden, wie dies bereits Engelmann für vereinzelte Fälle nach der ersten Stanniusschen Ligatur gefunden hatte. Diese wachgewordene Vorhofsautomatie kann sich u. U. demnach so sehr steigern, daß sie die im Sinusgebiet vorhandene sogar übertrifft. Es besteht somit die ursprünglich gemachte Annahme, daß die Befähigung zu eigener Automatie in den einzelnen Herzabschnitten vom venösen Ende angefangen fortschreitend immer mehr abnimmt, keineswegs allgemein zurecht, wie dies auch aus später zu besprechenden Untersuchungen noch weiter hervorgeht.

Am spontan schlagenden Schildkrötenherzen hat ferner auch Gewin (1906) gelegentlich nach elektrischer Reizung des Ventrikels sowie nach Erwärmung des ganzen Tieres im Salzwasserbade (von 25 bis 28°) gleichzeitige Vorhof- und Kammerpulse auftreten gesehen, deren Entstehung in der Mitte der A. V.-Verbindung sich durch ihre Synchronie kundgab. Diese „Bündelpulse“ traten zwischen normal aufeinanderfolgenden Vorhof- und Kammerkontraktionen auf, so daß es zwischen den beiden Rhythmusformen gleichsam zu einem Wettstreit kam: durch die elektrische Reizung bzw. die höhere Temperatur war die Automatie des A. V.-Trichters derart gesteigert worden, daß sie zeitweise über die Sinusautomatie die Oberhand gewann.

Elektrokardiographisch hat zuerst Samojloff (1910) die automatische Kammerschlagfolge, wie sie sich nach der ersten Stanniusschen Ligatur am Froschherzen u. U. spontan ausbildet, im Verein mit der graphischen Registrierung des mechanischen Effektes durch das Suspensionsverfahren untersucht. Es erwies sich dabei das Ventrikelelektrogramm, ebenso wie die Verkürzungskurve, in allen Teilen vergrößert, aber im übrigen vollkommen analog wie vor der Ausführung der Stanniusschen Ligatur. Samojloff schließt daraus, daß auch im Froschherzen eine vorgeschriebene Bahn für die Reizausbreitung gegeben ist; daß nach der Stanniusschen Ligatur die Hauptzacke R größer erscheint, sei nur der Ausdruck für einen stärkeren Erregungsvorgang. Ferner zeigte die Kurve eine längere Periodendauer, und zwar auf Kosten des horizontal verlaufenden Anteiles. Dies entspricht demnach einer Verlängerung derjenigen Phase, während welcher alle Ventrikelfasern gleichzeitig kontrahiert sind, womit auch das größere Gesamtkontraktionsausmaß übereinstimmt. Diese Veränderungen sind jedoch nicht als spezifische anzusehen, sondern erscheinen ausschließlich durch die geringere Schlagfrequenz sekundär bedingt.

Ferner beobachtete auch Samojloff am spontan schlagenden Herzen nach Vagusreizung das vorübergehende Auftreten von automatischen Ventrikelkontraktionen mit darauffolgenden Vorhofpulsen. Die automatische Reizbildung erfolgte also auch hier, wie z. B. bei den Versuchen von Engelmann, im kammerwärts gelegenen Anteil des A. V.-Trichters. Die Elektrogramme dieser automatischen Ventrikelkontraktionen werden nun, wie Samojloff weiter feststellen konnte, durch Vagusreizung ganz ebenso beeinflußt wie die normalen oder durch elektrische Reizung ausgelösten Kammerpulse: Die positive Endzacke T wird merklich kleiner bzw. negativ, das Zeitintervall zwischen der Hauptzacke R und der Endzacke T wird kürzer.

Später hat auch Seemann (1912) die Verhältnisse am Froschherzen nach den Stanniusschen Ligaturen einer elektrokardiographischen Prüfung unterzogen und spez. die von Engelmann gewonnenen Befunde bestätigen können. Seemann fand, daß bei den nach der ersten Ligatur spontan auftretenden Herzpulsen im Elektrogramm die Vorhofzacke gewöhnlich erst nach der Anfangsschwankung auftritt, in welchen Fällen also der Ursprungsort der automatischen Reize im A. V.-Trichter, wie schon von Engelmann festgestellt wurde, etwas mehr kammerwärts gelegen ist. Ferner konnte Seemann beobachten, daß das Auftreten von spontanen Herzkontraktionen während des Stanniusschen Stillstandes befördert wird, wenn man das Herz an der A. V.-Grenze über einen Glas-

stab spannt. Durch diese mechanische Dehnung wird das Entstehen von automatischen Herzpulsen ausgelöst, wobei aber die Vorhofkontraktionen vor den Kammerpulsen erfolgen, was im Elektrogramm sich dadurch zum Ausdruck bringt, daß die Vorhofszacke in diesen Fällen der Anfangsschwankung vorangeht. Es handelt sich demnach auch hier um die Ausbildung einer Vorhofautomatie, wobei die automatische Herzreizbildung im Vorhofsteil des A. V.-Trichters statt hat. Schließlich stellte Seemann auch fest, daß nach der ersten Stanniusschen Ligatur während des Herzstillstandes bereits sehr kleine Ventrikel-Elektrogramme auftreten, während ein motorischer Effekt dabei vollkommen vermißt wird. Seemann schließt daraus, daß die schon so früh nach der ersten Stanniusschen Ligatur auftretende Automatie zunächst unterdrückt werde, so daß es noch zu keinen sichtbaren Kontraktionen kommen kann. Er glaubt daher, in diesen Befunden einen Hinweis dafür erblicken zu können, daß für den Herzstillstand nach der ersten Stanniusschen Ligatur neben dem Ausfall der Sinuserregungen außerdem auch in modifiziertem Heidenhainschen Sinn eine Hemmungseinwirkung in Betracht kommen dürfte, welche sich auf die Automatie im A. V.-Trichter bezieht.

Daß die für gewöhnlich ja latente Automatie desselben erst allmählich zur vollen Ausbildung gelangt, wenn die normale Herzreizbildung im Sinusgebiet in Wegfall kommt, bringt sich ev. auch z.B. in den Lohmannschen Versuchen mit Vagusreizung zum Ausdruck. Ferner hatte schon Gaskell beobachtet, daß die Automatie des Ventrikels bzw. des A. V.-Trichters leichter über den normalen Sinusrhythmus die Oberhand gewinnt, wenn sie erst überhaupt einmal zum Durchbruch gelangt ist. Dafür sprechen weiter Reizversuche, die F. B. Hofmann (1904) ausgeführt hat. Auch eigene Beobachtungen stimmen endlich damit überein, worüber an späterer Stelle die Rede sein soll.

Ein interessantes Gegenstück zu der Unterdrückung, welche die Automatie im A. V.-Trichter durch die normalen Sinuserregungen erfährt und deren zeitweilige oder dauernde Beseitigung (durch Vagusreizung bezw. den ersten Stanniusschen Schnitt) in der Regel erst das spontane Wachwerden der automatischen Reizbildung im A. V.-Trichter ermöglicht, liegt ferner in Beobachtungen, die F. B. Hofmann und J. Holzinger (1911) am automatisch schlagenden Frosch- und Schildkrötenventrikel gemacht haben. Sie fanden nämlich, daß bei Extrareizungen die Dauer der „Extraperioden“ gegenüber derjenigen der „Spontanperioden“ mehr oder minder verlängert ist, und zwar an der Froschherzkammer stärker, weniger am Schildkrötenventrikel.[1]) Eine wahre kompensatorische

[1]) Eine analoge Hemmungswirkung eingeschalteter Extrasystolen hatten

Pause trat dagegen hier nie auf, da sich ja der automatisch schlagende Ventrikel in dieser Hinsicht wie der Sinus des normal pulsierenden Herzens verhält, welche Verhältnisse bereits von Engelmann (1897) klargelegt worden sind. F. B. Hofmann und J. Holzinger konnten aber nun weiterhin nachweisen, daß diese Hemmungswirkung eingeschalteter Extrasystolen auf die automatische Kammerschlagfolge im allgemeinen mit der Zahl derselben zunimmt und länger nachhält, so daß u. U. nach mehrfachen, unmittelbar aufeinanderfolgenden Reizungen sogar beträchtliche Stillstände auftreten können. Ferner ergab sich auch dabei die Beziehung, daß diese Hemmungswirkung am Froschventrikel, der nach dem ersten Stanniusschen Schnitt durchschnittlich am längsten stillsteht, am größten ist, schwächer schon an der Kammer des Schildkrötenherzens, die ja isoliert bereits früher automatisch zu schlagen beginnt, und endlich am geringsten am Hundeventrikel, der nach Abtrennung der Vorhöfe meist fast ohne Unterbrechung weiterpulsiert. Eine Mitreizung von hemmenden Vagusfasern konnte dabei nicht in Betracht kommen, da die Versuche an stark atropinisierten Herzen ausgeführt wurden. Diese Befunde führen daher zum mindesten zur Vermutung, daß, je größer die Hemmungswirkung eingeschalteter Extrasystolen auf die automatische Kammerschlagfolge ist, sich desto mehr auch die automatische Reizbildung innerhalb der A. V.-Verbindung nach der Ventrikelabtrennung infolge der dauernden vorausgegangenen Reizung durch die normalen Sinuserregungen als unterdrückt erweist und daher um so langsamer zum Durchbruch kommt.

Es ist aber immerhin vielleicht auch möglich, daß das erst allmähliche Wachwerden der Automatie im A. V.-Trichter nicht durch eine langsam abklingende Hemmungswirkung bedingt ist, sondern sich daraus erklärt, daß die nach Aufhören der normalen Sinuserregungen auftretende, anfänglich noch recht schwache automatische Reizbildung im A. V.-Trichter durch ihre Tätigkeit an und für sich an Stärke gewinnt, das Anwachsen der Intensität der einzelnen automatischen Reize also eine Art „Treppenerscheinung" darstellt. Von diesem Gesichtspunkt aus würde sich demnach die Auffassung ergeben, daß sich schon bald nach dem ersten Stanniusschen Schnitt die bis dahin latente automatische

---

am Venensinus des Froschherzens bereits R. Tigerstedt und Strömberg (1888) sowie auch an den großen Hohlvenen des Frosches Engelmann (1897) festgestellt. In vereinzelten Fällen fanden die genannten Forscher aber auch nach Extrareizung einen beschleunigenden Einfluß auf die spontane Rhythmik der erwähnten Herzteile, wie dies gleichfalls F. B. Hofmann und Holzinger ganz ausnahmsweise am automatisch schlagenden Froschventrikel beobachten konnten.

Reizerzeugung im A. V.-Trichter einstellt, dieselbe aber infolge ihrer noch zu geringen Stärke zunächst nur im Elektrogramm (wie bei den Seemannschen Versuchen) zum Ausdruck kommt, jedoch noch zu keinen sichtbaren Kontraktionen Veranlassung geben kann; letztere treten vielmehr erst dann auf, wenn die Intensität der automatischen Reize genügend angewachsen ist, während sich im Elektrogramm auch schon die ersten unterschwelligen Erregungen verzeichnen.

Am Eidechsenherzen haben ferner Külbs und Lange (1911) im Anschluß an ihre schon früher besprochenen anatomischen Untersuchungen über die A. V.-Verbindung dieselbe auch funktionell geprüft. Zur Beurteilung der Herztätigkeit verwandten sie dabei die Doppelsuspension von Vorhof und Kammer und führten in zweifacher Weise Durchschneidungsversuche aus. Einerseits durchtrennten sie in einer Anzahl von Fällen von hinten aus die Vorhofsscheidewand sowie die hinteren und seitlichen Teile der Vorhofswände oberhalb der A. V.-Verbindung. Abgesehen von einer geringfügigen Frequenzverminderung und einer leichten Abschwächung der Kammerpulse, worin sich wohl nur eine allgemeine Wirkung des experimentellen Eingriffes an und für sich kund gab, trat in 4 von 6 derartigen Versuchen keine weitere Störung der normalen Herztätigkeit ein. In den übrigen 2 Versuchen erfolgte nach einem kurzen Kammerstillstand eine Überleitungsstörung in Form eines unvollkommenen Blockes, der sich nach einiger Zeit aber wieder ausglich. Wie die mikroskopische Nachprüfung ergab, war hier die A. V.-Verbindung vom operativen Schnitt in ihrem oberen Abschnitt getroffen; außerdem bestand eine vollständige Durchtrennung der an der Hinterwand des Herzens befindlichen nervösen Elemente. In weiteren 4 Versuchen wurde der Schnitt vorne unterhalb der A. V.-Verbindung gesetzt. Es trat darauf zunächst stets Kammerstillstand auf, der in 2 Fällen dauernd bestehen blieb; in den beiden anderen Versuchen bildete sich dann eine von der Vorhofstätigkeit unabhängige langsame Kammerschlagfolge aus.

Nach dem Ergebnis dieser freilich nicht zahlreichen Versuche müßte man also am Eidechsenherzen den ventralen Anteilen der A. V.-Verbindung für die Überleitung der Herzreize von den Vorhöfen zur Kammer eine größere Bedeutung zusprechen als den seitlichen und dorsalen, eine Auffassung, die allerdings mit Untersuchungen nicht übereinstimmt, die im folgenden besprochen werden sollen. Die geringe Zahl der Versuche mag hier immerhin um so mehr ins Gewicht fallen, als sie im Eidechsenherz ein äußerst zartes und recht widerstandsschwaches Organ betreffen, das schon durch die verschiedenen experimentellen Eingriffe an und für sich in seiner Funktion leicht tiefgreifend geschädigt werden kann; dadurch

wird wohl die einwandfreie Deutung der Versuchsergebnisse wesentlich erschwert, ein Umstand, der es desto wünschenswerter erscheinen läßt, dieselben aus einer möglichst großen Anzahl von Einzelversuchen zu gewinnen.

So hat am Reptilienherzen (Eidechse und Schildkröte) später Laurens (1913) unter Mangolds Leitung sehr eingehend ebenfalls mittels Durchschneidungsversuche die funktionelle Wertigkeit der verschiedenen Anteile der A. V.-Verbindung hinsichtlich der Erregungsleitung systematisch untersucht. Er konnte feststellen, daß in dieser Beziehung bereits eine weitgehende physiologische Differenzierung besteht, insofern sich in seinen Versuchen nur die beiden seitlichen Anteile des A. V.-Trichters für die Überleitung der normalen Herzreize von den Vorhöfen auf die Kammer als maßgebend herausstellten, worauf schon die Untersuchungen Gaskells (1883) hingewiesen hatten. Noch eine dünne Verbindungsbrücke vermochte hier die a. v. Koordination vollkommen zu gewährleisten; dabei scheint der links gelegene Teil der A. V.-Verbindung funktionell am wichtigsten zu sein. Dagegen muß ihren dorsalen und ventralen Anteilen irgendwelche Bedeutung für die a. v. Erregungsleitung ganz abgesprochen werden, da sie bei vollkommener Durchschneidung der seitlichen Anteile die normale Schlagfolge nicht mehr aufrecht zu erhalten vermögen, während ihre alleinige Ausschaltung die a. v. Koordination nicht beeinträchtigt. Auch die Vorhofsscheidewand hat sich für die a. v. Reizleitung in Bestätigung des ursprünglichen Gaskellschen Befundes als belanglos gezeigt, da die Durchschneidung derselben für letztere von keinen Folgen war, abgesehen von einem vorübergehenden Herzstillstand, wie er u. U. auch auf diesen Eingriff hin wie nach den verschiedensten anderen experimentellen Schädigungen auftreten kann. Dieselben führen auch meist zu einer Verlängerung der a. v. Überleitungszeit, zumal wenn bei den Durchschneidungsversuchen mehr oder minder beträchtliche Verletzungen des A. V.-Verbindungsringes gesetzt wurden. Aus den Laurensschen Versuchen geht aber auch hervor, daß diese Verzögerung der Überleitung nicht so sehr vom Ausmaße der Verletzung überhaupt und der Breite der noch übrig bleibenden Verbindungsbrücke im allgemeinen abhängt, als vielmehr von dem Umstand, ob die Durchschneidung die für die a. v. Erregungsleitung wichtigen Anteile mehr oder minder getroffen hat oder nicht. Dasselbe gilt nach Laurens auch für die verschiedenen Formen der Überleitungsstörungen, die sämtlich experimentell durch entsprechend gewählte Durchschneidungen hervorgerufen werden konnten. Es hat sich dabei ferner gezeigt, daß selbst bei Bestehen eines vollkommenen Blockes nach

einiger Zeit der Erholung u. U. der stehen gebliebene Rest des A. V.-Trichters seine leitende Funktion soweit steigern kann, daß die bereits eingetretene vollkommene Dissoziation wieder einer normalen Schlagfolge weicht.

Schließlich ergab sich, daß nach Eintritt eines vollkommenen Blockes die Ausbildung der automatischen Kammerschlagfolge in sehr verschiedengradigem Ausmaße erfolgen kann, abgesehen von den Fällen, in denen dauernd der Ventrikel stillsteht. Meist ist die Frequenz der automatisch schlagenden Kammer geringer als diejenige der Vorhöfe, sie kann aber auch am Schildkrötenherzen letzterer gleichkommen oder sie sogar beträchtlich überholen und noch weiter andauern, wenn bereits Vorhofsstillstand eingetreten ist; dadurch bringt sich dann deutlich die stärkere Kammerautomatie gegenüber der normalen Herzreizbildung zum Ausdruck. Trat endlich nach genügender Durchschneidung der A. V.-Verbindung am Schildkrötenherzen eine Umkehr der Schlagfolge auf, die sowohl durch Doppelsuspension als auch z. T. elektrokardiographisch registriert wurde, so erwies sich die Überleitungszeit oft sehr klein, bisweilen trat auch fast gleichzeitiges Schlagen von Kammer und Vorhöfen auf, sodaß dabei der Entstehungsort der automatischen Herzreize genau oder fast genau in der Mitte des A. V.-Trichters angenommen werden muß.

Die durch Laurens aufgedeckte Tatsache, daß innerhalb der A. V.-Verbindung des Reptilienherzens bereits eine deutliche funktionelle Differenzierung bezüglich der a. v. Erregungsleitung ausgebildet ist, steht mit den schon früher erwähnten anatomischen Befunden, die am selben Versuchsobjekt gewonnen wurden, in guter Übereinstimmung. In der Höhe der A. V.-Grenze bildet der A. V.-Trichter zwar noch einen geschlossenen Ring, doch reichen, wie Laurens für das Eidechsenherz feststellen konnte, seine seitlichen Anteile und zwar besonders der linke Schenkel weiter in die Ventrikelmuskulatur hinab und verbinden sich mit ihr inniger als die dorsalen und ventralen Abschnitte, wie dies auch der oben erwähnten Darstellung von Külbs entspricht.

Wie Laurens am Reptilienherzen, so hat Nakano (1913) ebenfalls unter Mangolds Leitung am Amphibienherzen die funktionelle Wertigkeit der verschiedenen Anteile des A. V.-Trichters bezüglich der Erregungsleitung von den Vorhöfen zur Kammer mit Hilfe der Doppelregistrierung näher untersucht. Er fand dabei durch entsprechende Durchschneidungsversuche, daß beim Froschherzen zwar jeder Anteil der A. V.-Verbindung dazu mehr oder minder befähigt ist, daß sich aber auch hier bereits eine gewisse Differenzierung kund gibt: Die ventralen Anteile haben für die a. v. Erregungsleitung die geringste Bedeutung, da sie allein die normale Koordination des Herzschlages überhaupt nicht

oder zum mindesten nicht im vollen Ausmaße aufrecht erhalten können. Dagegen erwiesen sich die dorsalen und lateralen Anteile des A. V.-Trichters für die Überleitung der Herzreize von den Vorhöfen zur Kammer als ausschlaggebend, insofern sie selbst bei größtmöglichster operativer Querschnittsreduktion imstande sind, die normale a. v. Koordination ganz oder doch fast ganz ungestört zu gewährleisten. Ferner konnte auch Nakano für das Froschherz feststellen, daß, wie schon F. B. Hofmann nachgewiesen hatte, die Vorhofsscheidewand für die a. v. Erregungsleitung von keiner Bedeutung ist, was auch in analogen Versuchen am Salamanderherzen gefunden wurde. Im übrigen gelangte Nakano auch hier zu entsprechenden Ergebnissen, insofern sich auch an diesem Herzen die funktionelle Wertigkeit für die a. v. Reizleitung an den ventralen Teilen der A. V.-Verbindung am geringsten herausstellte, während in dieser Hinsicht die seitlichen Anteile des A. V.-Trichters am wichtigsten sind; der dorsale Abschnitt nimmt dagegen hier eine Mittelstellung ein.

Für das Froschherz gab ferner Nakano an, daß an den verschiedenen Anteilen des A. V.-Trichters entsprechend der physiologischen Differenzierung oft auch eine Andeutung einer anatomischen zu beobachten sei; nach Entfernung des viszeralen Perikardes heben sich laut Aussage des genannten Autors in der A. V.-Gegend deutlich einzelne cremefarbige, sich stark kontrahierende Bündel vom dunkelroten Grunde ab, die in einigen Fällen an der A. V.-Grenze ziemlich scharf ventral- und dorsalwärts, sowie an den beiden seitlichen Anteilen konzentriert gewesen sein sollen. So mag vielleicht die Tatsache, daß im Amphibienherzen bereits der Beginn einer physiologischen Differenzierung der a. v. Überleitungsbahnen nachweisbar ist, wenigstens teilweise in dieser angedeuteten Konzentration der Verbindungsfasern in den verschiedenen Anteilen des A. V.-Trichters begründet sein; es kann aber dabei unter Umständen auch der verschieden innige Übergang der Trichtermuskulatur in die Muskelsubstanz des Ventrikels in Betracht kommen, wie ein solcher am Reptilienherzen von Külbs und Laurens festgestellt wurde.

Im Gegensatz zu diesen am Amphibienherzen gewonnenen Versuchsergebnissen hat ferner Nakano für das einfacher gebaute Aalherz nachgewiesen, daß hier die verschiedenen Anteile der zirkulären A. V.-Verbindung in bezug auf ihre Leitungsfunktion noch vollkommen gleichwertig sind.[1]) Im allgemeinen ist dieselbe aber in sämtlichen Verbindungsstücken geringer entwickelt als beispielsweise im Froschherzen, da

[1]) Von Mangold (1914) mitgeteilt.

sich beim Aalherzen zur Aufrechterhaltung der normalen Schlagfolge durchwegs eine breitere Verbindungsbrücke erforderlich erwies als beim Froschherzen. Wurde letztere noch weiter experimentell verschmälert, so war die Überleitung der Erregungen von den Vorhöfen zur Kammer aufgehoben und es bildete sich zwischen beiden Herzabschnitten vollkommene Dissoziation in ihrer Schlagfolge aus. Im übrigen zeigte sich sowohl das Aalherz als besonders auch das Forellen- und Karpfenherz überaus empfindlich gegen jeglichen experimentellen Eingriff, so daß z. B. bei letzteren allein schon durch die Isolierung des Herzens eine vorübergehende Störung der normalen Schlagfolge, bisweilen sogar auch Dissoziation der Vorhof- und Kammertätigkeit hervorgerufen wurde.

Am Aalherzen hat endlich auch Roskam (1913) Durchschneidungs- und Ligaturversuche ausgeführt, die ebenfalls das Ergebnis hatten, daß die Befähigung zur Erregungsleitung in allen Teilen der A. V.-Verbindung gleichmäßig ausgebildet ist.

B. Eigene Untersuchungen.

1. Versuche am Froschherzen.

Im folgenden soll über die Ergebnisse der Untersuchungen berichtet werden, die ich im Laufe der letzten 6 Jahre als Beiträge zur Physiologie der A. V.-Verbindung des Kaltblüterherzens ausgeführt habe. Ich wählte dabei zunächst als Versuchsobjekt das Froschherz (meist große ungarische Eskulenten) und dehnte dann die Untersuchungen auch auf das Schildkrötenherz (Land- und Sumpfschildkröten) aus. Noch andere Amphibien- und Reptilienarten heranzuziehen, erschien mir entbehrlich, da hier nach den bisherigen Erfahrungen keinerlei prinzipielle Unterschiede bestehen und die Wahl der genannten Versuchstiere einerseits durch ihre leichte Beschaffbarkeit, anderseits durch die ihnen zukommenden, nicht allzu kleinen anatomischen Verhältnisse und nicht zuletzt durch ihre verhältnismäßig gute Widerstandskraft gegen die verschiedenen experimentellen Eingriffe zur Genüge begründet war.

Die Versuche am Froschherzen wurden durchwegs am herausgeschnittenen überlebenden Organ ausgeführt und zwar je nach der Fragestellung entweder an dem vom Venensinus abgetrennten stillstehenden oder am spontan schlagenden Herzen. Zur graphischen Registrierung der Herztätigkeit diente ausnahmslos das Engelmannsche Suspensionsverfahren, das je nach Bedarf entweder nur an der Kammer oder zugleich auch an den Vorhöfen (meist dem linken), in bestimmten Versuchsreihen überdies auch am Sinus angewendet wurde.

In meiner ersten Abhandlung (1913) habe ich zunächst am Froschherzen die Frage näher untersucht, wie sich der A. V.-Trichter momentan einwirkenden Reizen gegenüber verhält, d. h. ob und in welcher Weise dadurch in ihm eine selbständige Automatie ausgelöst werden kann.

Was zunächst das sinuslose Herz betrifft, so waren bei den Versuchen von Gaskell und W. Ewald direkte Stichverletzungen (Nadelstiche) des A.-V.-Trichters in Anwendung gekommen, wodurch längere automatische Pulsreihen hervorgerufen wurden. Es handelte sich also dabei um starke mechanische Reize, deren Einwirkung in ähnlicher Weise wie bei der zweiten Stanniusschen Ligatur oder wohl auch bei dem entsprechenden Schnitt als eine länger andauernde angesehen werden muß. Es erhob sich daher die Frage, ob die automatische Reizbildung im A. V.-Trichter nur durch einen solchen mehr oder minder konstanten Reiz, z. B. analog der Einwirkung einer chemischen Reizsubstanz, ausgelöst werden kann, oder ob dazu auch eine nur ganz kurz von außen einwirkende Beeinflussung genügt, so daß dann die automatischen Reize kürzere oder längere Zeit spontan weiter gebildet werden, wenn jener äußere, momentane Anlaß sicher schon lange abgeklungen ist. Erst in diesem Falle darf man ja eigentlich von einer selbständigen Automatie im engeren Sinne des Wortes sprechen, da ja die Beantwortung eines dauernd einwirkenden chemischen Reizes durch regelmäßig auftretende Kontraktionen eine allgemeine Eigenschaft der Muskelsubstanz überhaupt ist, wie dies seit den Untersuchungen Biedermanns (1880) bekannt geworden ist. Und in letzter Linie dürfte ja die Dauerwirkung eines Verletzungsreizes — vom etwaigen Einfluß des Demarkationsstromes abgesehen — wohl auch auf Veränderungen chemischer Natur zurückzuführen sein. Dieselben müssen aber auf jeden Fall recht geringfügig sein, da die übrige Herzmuskulatur darauf nicht mit spontanen Pulsationen reagiert. Es wäre aber immerhin möglich, daß sie genügend stark sind, um ihrerseits eine dauernde wirksame Reizung des A. V.-Trichters zu bedingen.

Um nun sicher nur momentan wirkende Reize anzuwenden, benutzte ich Einzelinduktionsschläge; dabei verfuhr ich in der Art, daß am sinuslosen Herzen ventralwärts knapp unterhalb der A. V.-Grenze meist 4 feine Stahlnadeln in möglichst gleich weitem Abstande voneinander durchgestochen wurden. Durch entsprechende Variierung der Stromzuleitung von der sekundären Spule eines großen Schlitteninduktoriums (mit einem Akkumulator im Primärkreis) konnten so die verschiedenen Anteile der Kammerbasis der elektrischen Reizung unterzogen werden. Unmittelbar nach dem Einstechen der Elektrodennadeln — und zwar

besonders der mittleren — kam es dabei zunächst oft zu verschieden langen automatischen Pulsreihen, die bei kürzerer Dauer derselben wahrscheinlich nur durch eine indirekte mechanische Reizwirkung (etwa Zerrung oder Druck) auf den A. V.-Trichter, bei längerer dagegen wohl durch eine unmittelbare Verletzung desselben verursacht waren. Mit den elektrischen Reizversuchen wurde aber stets erst begonnen, wenn schon längere Zeit wieder Herzstillstand bestanden hatte, so daß von einem noch vorhandenen wirksamen Reizzustand nicht mehr die Rede sein konnte.

Die Reizversuche mit kurzen Einzelinduktionsschlägen ergaben nun, daß vor allem von den mittleren Elektroden aus automatische Pulsreihen hervorgerufen werden konnten, also von jenen Nadeln aus, durch welche, wie die mikroskopische Nachuntersuchung erwies, der untere Abschnitt des A. V.-Trichters am unmittelbarsten gereizt wurde.

Als Ort der automatischen Reizbildung bei diesen von dem A. V.-Trichter aus durch elektrische Einzelreize ausgelösten Kontraktionsreihen konnte mit Hilfe des Doppelsuspensionsverfahrens der mehr kammerwärts gelegene Teil des A. V.-Trichters festgestellt werden, da sich dabei zeigte, daß auch hier, wie dies Engelmann (1903) bereits für die nach der ersten Stanniusschen Ligatur unter Umständen spontan auftretenden Herzschläge gefunden hatte, in der Regel die Kammerkontraktionen knapp vor den Vorhofpulsen erfolgen.

Wurden statt der Einzelinduktionsschläge ganz kurze faradische Reizungen der A. V.-Trichtergegend von weniger als einer Sekunde Dauer vorgenommen, die also wohl auch noch als fast momentane Reize gelten können, so trat auffallenderweise ein unverhältnismäßig größerer Reizerfolg auf: Die automatischen Pulsreihen bildeten sich entweder schon bei weit geringerer Reizstärke aus oder waren bei gleicher Reizstärke von beträchtlich längerer Dauer und größerer Frequenz als nach Einzelreizung, wofür in folgender Fig. 1[1]) ein Kurvenbeispiel gegeben ist.

Es gab sich somit hier bezüglich der Fähigkeit, im A. V-Trichter eine andauernde automatische Reizbildung auszulösen, die bedeutende Überlegenheit von auch nur ganz kurz dauernden faradischen Reizen gegenüber Einzelinduktionschlägen deutlich kund, eine Tatsache, die wohl als Ausdruck einer in beträchtlichem Maße statthabenden Summationswirkung angesehen werden muß; dieselbe trat bei etwas längeren

---

[1]) Sämtliche Kurvenfiguren sind meinen zitierten Originalarbeiten entnommen bezw. aus dort reproduzierten zusammengestellt. (Von links nach rechts zu lesen; Zeitregistrierung in Sekundenmarken.)

Faradisationen (von 1 Sek. Dauer angefangen) noch entsprechend stärker im oben angegebenen Sinne zutage.

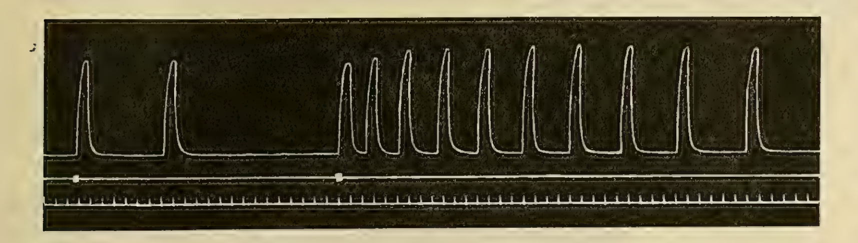


Fig. 1.
Reizung der A. V.-Trichtergegend durch einen Induktionsdoppelschlag bei 65 mm R. A.[1]) bewirkt zwei Kammerpulse, während eine nur $^1/_2''$ währende Faradisation dieser Herzpartie bei gleichem R. A. bereits 10 Kontraktionen zur Folge hat; (sinusloses Herz).

Bei diesen länger andauernden faradischen Reizungen hat es sich ferner gezeigt, daß sie, in der Gegend des A. V.-Trichters ausgeführt, oft zu mehr oder minder lang anhaltendem „Wühlen und Wogen" der Herzkammer führen, wie dies aus nachstehender Fig. 2 ersichtlich ist.

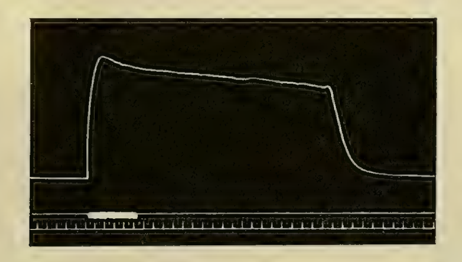


Fig. 2.
Eine 5″ währende Faradisation der A. V.-Trichtergegend (bei 90 mm R. A.) löst 19″ lang überdauerndes Kammerwühlen aus; (sinusloses Herz).

Dagegen blieben die entsprechenden Faradisationen des zum Vergleich herangezogenen benachbarten Teiles der Kammerbasis unterhalb des Bulbus arteriosus ohne Nachwirkung, wenn sie nicht sehr stark gewählt wurden, so daß dann unter Umständen eine wirksame Mitreizung des A. V.-Trichters durch Stromschleifen erfolgte.

---

[1]) R. A. = Rollenabstand.

An das von der A. V.-Trichtergegend aus hervorgerufene und den Reiz verschieden lang überdauernde Wühlen kann sich dann noch eine Reihe automatischer Kontraktionen unmittelbar anschließen, wie Fig. 3 zeigt.

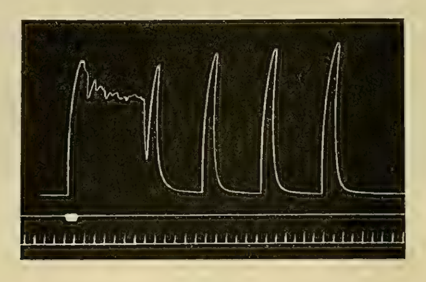


Fig. 3.
Nach faradischer Reizung der A. V.-Trichtergegend (bei 120 mm R.-A. und von $1^1/_4''$ Dauer) tritt überdauerndes Kammerwühlen mit direkt daran anschließenden 4 automatischen Kontraktionen auf; (sinusloses Herz).

Bereits diese am sinuslosen Herzen gewonnenen Befunde führten mich zu der Anschauung, daß der Ort der automatischen Reizbildung für das überdauernde Wühlen im A. V.-Trichter gelegen ist, wofür auch spätere Versuche mehrfache Bestätigung erbracht haben. Auch ließ sich als weitere Stütze dieser Auffassung ein

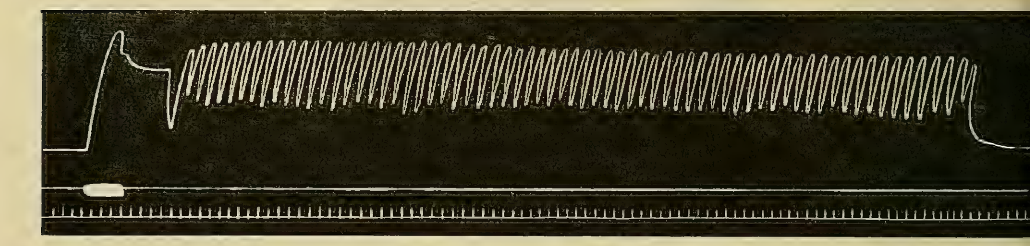


Fig. 4.
Nach Faradisation der Gegend des A. V.-Trichters (bei 0 mm R. A. und von 4″ Dauer) erfolgt zunächst überdauerndes Kammerwühlen, das in eine frequente automatische Pulsreihe übergeht; (sinusloses Herz).

vollkommener Übergang des Wühlens zur gewöhnlichen automatischen Schlagfolge insofern aufdecken, als oft nach stärkeren faradischen Reizungen der A. V.-Trichtergegend statt des überdauernden Wühlens oder als Fortsetzung desselben eine ganz regelmäßige, stets mehr oder minder hochfrequente automatische Kammerpulsation beobachtet

wurde, wobei der Ventrikel in einem verschieden starken Tonus verharrt. Dieser Zustand hielt oft lange Zeit an und schloß unter Umständen ebenso wie das Nachwühlen mit einer oder einigen automatischen Kontraktionen von gewöhnlichem Ausmaß ab. In Fig. 4 ist ein solcher automatischer Kammerrhythmus mittelhoher Frequenz, wie er sich nach einer faradischen Reizung der A. V.-Trichtergegend aus dem anfänglichen Wühlen entwickelte, abgebildet.

Dagegen zeigt Fig. 5 eine hochfrequente automatische Kammerpulsation, die mit einer normal großen automatischen Ventrikelkontraktion abschließt.

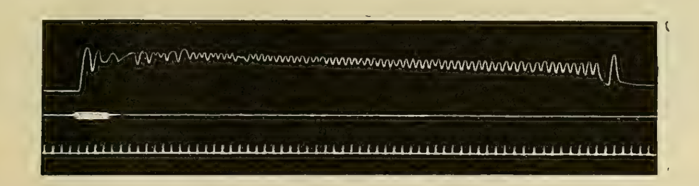


Fig. 5.
Hochfrequente automatische Kammerpulsation nach faradischer Trichterreizung (bei 100 mm R. A. und 4″ Dauer); (sinusloses Herz).

Am sinuslosen Herzen wurden ferner auch die verschiedenen Anteile der Kammerbasis einer systematischen Erregbarkeitsprüfung unterzogen, wobei sich herausstellte, daß die A. V.-Trichtergegend eine höhere Erregbarkeit aufweist[1]) als z. B. die Partie unterhalb des Bulbus arteriosus. Mit Öffnungsinduktionsschlägen geprüft, ergab sich dieser Vergleichstelle gegenüber ein Unterschied von ungefähr 10 bis 20 mm Rollenabstand (großer Schlitteninduktionsapparat mit 1 Akkumulator). Noch auffallender gestaltete sich die Differenz bei der Prüfung mit kurzen faradischen Reizen und erreichte hier Weite von ungefähr 20 bis 35 mm Rollenabstand. Dieser Befund steht in Übereinstimmung mit der Angabe Lohmanns (1904), daß beim Hunde die a. v. Verbindungsfasern leichter erregbar sind als die übrige Ventrikelsubstanz, wie er dies am spontan schlagenden Herzen mittels Auslösung von Extrasystolen nachweisen konnte.

Außerdem wurde in meinen Versuchen bei faradischer Reizart meist auch eine deutliche Erregbarkeitssteigerung durch einen unmittelbar vorausgegangenen Reiz für die A. V.-Trichtergegend gefunden, so daß dann hier ein zweiter Reiz bei um 5 mm größerer Rollenentfernung noch

[1]) Dies war schon von Engelmann (1895) als wahrscheinlich hingestellt worden.

wirksam blieb, während dies an den anderen Prüfungsstellen (rechte und linke Anteile der Kammerbasis) nicht beobachtet werden konnte. Es scheint demnach die Eigenschaft der Erregbarkeitssteigerung durch einmalige Reize der an und für sich erregbareren Muskulatur des A. V.-Trichters in besonderem Maße zuzukommen.

Endlich haben weitere vergleichende Schwellenwertbestimmungen mit Einzelinduktionsschlägen einerseits und faradischen Reizungen anderseits zu der Annahme Veranlassung gegeben, daß die Summationsfähigkeit unterschwelliger Reize, wie sie für den Herzmuskel zuerst von v. Basch (1879 u. 1880) festgestellt worden ist, in der Gegend des A. V.-Trichters bei niedriger Reizfrequenz unter Umständen stärker ausgebildet ist als in den übrigen Herzpartien. So ließ sich an der a. v. Verbindungsmuskulatur in verschiedenen Grundeigenschaften ein besonderes Verhalten nachweisen.

Wie durch mechanische und elektrische Reizung der A. V.-Trichtergegend am sinuslosen Herzen andauernde Automatie daselbst auslösbar ist, die zum Auftreten von verschieden langen Pulsreihen führt, so ist dies auch durch lokale thermische Beeinflussung der genannten Herzpartie möglich. Daß das sinuslose, stillstehende Froschherz durch plötzliche totale Erwärmung zum Schlagen veranlaßt werden kann, ist schon seit den Untersuchungen von Friedländer (1867), Marchand (1878), Langendorff (1884) u. A. bekannt; die Erscheinung wurde früher im Sinne der Ganglientheorie auf Erregung der A. V.-Ganglien bezogen, muß aber auf Grund der jetzt gewonnenen Erfahrungen und der sogleich zu beschreibenden Versuche mit lokaler Erwärmung ebenfalls auf eine Reizung des A. V.-Trichters zurückgeführt werden, wie dies für die anderen Reizarten früher des näheren dargelegt wurde. Nachdem ich mich zunächst von der erwähnten Tatsache überzeugt und nur bezüglich der Leichtigkeit, auf diese Weise die Automatie auszulösen, beträchtliche individuelle Unterschiede bei verschiedenen Versuchstieren festgestellt hatte, ging ich dazu über, diese totale Erwärmung, wie sie durch Eintauchen des ganzen Herzens in eine entsprechend temperierte physiologische Kochsalzlösung (von 30 bis 35^0) ausgeführt wurde, durch eine lokale thermische Reizung der A. V.-Trichtergegend unterhalb der Kammerbasis zu ersetzen. Dazu benutzte ich eine kleine, aus poliertem Kupferblech hergestellte Thermode, die mit entsprechend erwärmtem Wasser durchströmt wurde. Ihr Endteil, der auf die betreffende Herzstelle mit der Hand leicht aufgelegt wurde, wies eine Breite von ungefähr 3 mm auf und war mit abgerundeten und sehr glatten Kanten hergestellt; so wurde beim vor-

sichtigen Anlegen der Thermode an und für sich kein wirksamer mechanischer Reiz gesetzt, wie dies durch oftmalige Kontrollversuche sichergestellt werden konnte. Wurde nun mit Hilfe dieser Thermode eine örtliche Erwärmung der unteren Trichtergegend vorgenommen, so traten ebenfalls wie bei totaler Erwärmung des ganzen Herzens automatische Kontraktionen auf, wie aus Fig. 6 zu ersehen ist.

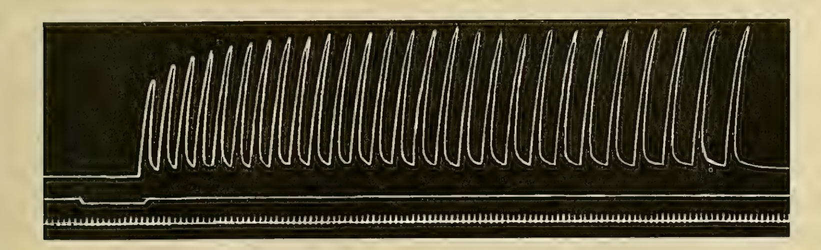


Fig. 6.
Auftreten einer automatischen Pulsreihe nach lokaler Erwärmung der unteren A. V.-Trichtergegend (durch das Reizsignal markiert). Die Temperatur des die Thermode durchströmenden Wassers betrug beim Abflusse 30° C; (sinusloses Herz).

Dagegen ließ ein lokaler Wärmereiz, der z. B. die Herzspitze oder den unterhalb des Bulbus gelegenen Kammeranteil traf, diesen Erfolg vermissen. Die Reizung des A. V.-Trichters wurde hier wie bei den elektrischen Reizversuchen deshalb in seiner unteren, kammerwärts gelegenen Partie ausgeführt, damit eine Miterregung der weiter oben am Ansatz der A. V.-Klappen gelegenen Bidderschen Ganglien vermieden wird, was bei diesen Versuchen wohl nicht möglich wäre, wenn als Reizort die Mitte des A. V.-Trichters, also die Gegend der A. V.-Grenze selbst gewählt würde.

Bestand ferner bereits am sinuslosen Herzen eine automatische Schlagfolge, so konnte dieselbe durch die lokale Erwärmung der A. V.-Trichtergegend in ihrer Frequenz bedeutend gesteigert werden, als Zeichen dafür, daß die daselbst statthabende automatische Reizbildung durch die Erhöhung der Temperatur an Stärke zugenommen hat. Dieser Befund entspricht der von Ganter und Zahn (1911 und 1912) gefundenen Tatsache, daß der a. v. Rhythmus des Säugetierherzens durch örtlich begrenzte Erwärmung des A. V.-Knotens frequenter wird.

Wie schon früher erwähnt wurde, lag der Ort der automatischen Reizbildung am sinuslosen Herzen bei den durch elektrische Reizung der unteren A. V.-Trichtergegend ausgelösten Pulsreihen daselbst in der Regel etwas kammerwärts, da die Vorhofkontraktionen den Ventrikel-

pulsen meist unmittelbar nachfolgten, ebenso wie es Engelmann für die unter Umständen nach dem ersten Stanniusschen Eingriff spontan auftretenden, automatischen Kontraktionen festgestellt hatte. So wie aber hier Engelmann, so habe auch ich bei meinen Versuchen bisweilen das umgekehrte Verhalten beobachten können, so daß sich demnach die Bildungsstätte der automatischen Herzreize im Vorhofsteil des A. V.-Trichters befinden mußte. Dadurch kam es dann zur Entstehung einer Vorhofautomatie, wie eine solche früher auch schon Langendorff (1884), Lohmann (1907) und Seemann (1912) gelegentlich nachgewiesen hatten. Um dem Einwand zu begegnen, daß bei der Abtrennung des Herzens vielleicht Sinusanteile mit abgeschnitten worden seien, die dann eventuell eine Vorhofautomatie vorgetäuscht hätten, habe ich den Schnitt stets etwas vorhofwärts von der Sinus-Vorhofgrenze geführt, was bereits von Loewit (1880) zwecks sicherer Erreichung eines unmittelbaren Herzstillstandes als notwendig erkannt worden war. Ja, in einigen Versuchen, bei denen nach elektrischen Reizungen der A. V.-Trichtergegend isolierte automatische Vorhofkontraktionen erfolgten, habe ich noch weitere Vorhofsteile sinuswärts abgeschnitten, ohne daß die automatische Pulsation verschwunden wäre.[1]) Ferner traten auch automatische Kontraktionen des Vorhofes nach dem Durchstechen der Reiznadeln auf, wenn ausnahmsweise zunächst eine spontane Schlagfolge in normaler Richtung stattfand und nach einiger Zeit die Kammer zum Stillstand kam. An den Vorhöfen dauerten dagegen die automatischen Kontraktionen noch länger an, trotzdem zuletzt nach weiterer Abtragung nur mehr ihre kleinere, kammerwärts gelegene Hälfte übrig geblieben war. Schließlich konnten auch durch totale Erwärmung des stillstehenden sinuslosen Herzens (s. o.!) unter Umständen automatische Kontraktionen hervorgerufen werden, die ausnahmsweise ihren Beginn im Vorhof nahmen.

Anschließend an diese am sinuslosen Froschherzen ausgeführten Versuche habe ich weiterhin geprüft, wieweit sich eine selbständige Automatie im A. V.-Trichter nicht nur hier, da die normalen Herzreize aus dem Sinusgebiet in Wegfall kommen, sondern auch am spontan schlagenden Herzen durch elektrische Reizungen der A. V.-Trichtergegend wachrufen läßt. Es ergab sich, daß es bei Anwendung einzelner Induktionsschläge nur ganz selten möglich ist, die automatische Reiz-

[1]) An den vom Sinus und Ventrikel durch Querquetschungen abgetrennten Vorhöfen des Froschherzens hatte auch schon v. Vintschgau (1905) beobachtet, daß unter Umständen sich spontan oder auf mechanische Reizungen hin automatische Pulsreihen ausbilden können.

bildung im A. V.-Trichter so weit anzuregen, daß sie die Führung der Herztätigkeit gewinnt, wodurch der normale Sinusrhythmus durch die umgekehrte bzw. a. v. Schlagfolge ersetzt wird. Diese Änderung der Herzrhythmik konnte mit Hilfe der Doppelregistrierung von Kammer und Vorhof nach dem Suspensionsverfahren sicher festgestellt werden. Auch hier lag der Ort der automatischen Reizbildung im A. V.-Trichter etwas kammerwärts, da Vorhöfe und Kammer nicht genau gleichzeitig schlugen, sondern erstere mit ihren Kontraktionen den Ventrikelpulsen unmittelbar nachfolgten. Das in Tätigkeit treten der Trichterautomatie wurde meist in jenen Versuchen beobachtet, bei denen schon zu Beginn nach dem Einstechen der Elektrodennadeln in die Gegend des A. V.-Trichters vorübergehend eine analoge Rhythmusänderung aufgetreten war. Dieses Zusammentreffen dürfte als Ausdruck einer gewissen Steigerungsfähigkeit der automatischen Befähigung des A. V.-Trichters aufgefaßt werden, auf die bereits Beobachtungen von Gaskell und F. B. Hofmann, wie schon früher erwähnt, hingewiesen hatten. Daß endlich die Auslösung der Trichterautomatie nur in Ausnahmsfällen gelang, muß wohl darin seine Erklärung finden, daß die normalen im Sinusgebiet entstehenden Herzreize im allgemeinen an Intensität derart überwiegen, daß die im A. V.-Trichter durch Einzelreizung wachgerufene Automatie über sie nur recht schwer die Oberhand gewinnen kann.

Bei diesen Versuchen traten ferner bisweilen schon auffallend früh Überleitungsstörungen in Form des unvollkommenen oder totalen Blockes ein, so früh, daß sie sicher zum mindesten nicht allein durch das allmähliche Absterben der Präparate bedingt waren. Auch negativ dromotrope Nervenwirkungen konnten dafür nicht in Betracht kommen, da unter Umständen sich diese frühen Blockerscheinungen auch am stark atropinisierten Herzen zeigten. Es müssen dafür vielmehr schädigende Einwirkungen auf das a. v. Verbindungssystem selbst verantwortlich gemacht werden, wie solche ja einerseits in mechanischer Form durch das Einstechen der Elektrodennadeln, anderseits durch die wiederholten daselbst ausgeführten, elektrischen Reizungen zur Genüge gegeben waren.

Konnte durch Reizung der A. V.-Trichtergegend mittels Einzelinduktionsschlägen nur in vereinzelten Fällen der Automatie daselbst zum länger dauernden Durchbruch verholfen werden, so kam es dagegen öfters vor, daß sie dadurch wenigstens für kurze Zeit wachgerufen wurde. Dies zeigte sich im Auftreten von automatischen mehrfachen Kammerextrasystolen, die sich unmittelbar nach der Momentanreizung zwischen den normalen Sinusrhythmus einschoben; in einem Teil der Fälle waren sie von automatischen Vorhofskontraktionen be-

gleitet, worauf dann die so unterbrochene normale Herzschlagfolge wieder im ursprünglichen Rhythmus einsetzte.[1]) Das Auftreten solcher mehrfacher automatischer Kammerextrasystolen nach elektrischer Momentanreizung der Gegend des A. V.-Trichters läßt nachstehende Fig. 7 erkennen, in der — wie in den folgenden Figuren — die obere Kurve die Vorhoftätigkeit, die untere Kurve die Kammertätigkeit darstellt.

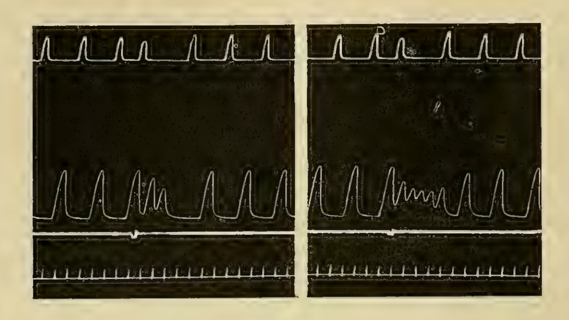


Fig. 7.
Mehrfache automatische Kammerextrasystolen nach Reizung der A. V.-Trichtergegend durch starke Induktionsdoppelschläge bei 20 mm R. A.; (spontan schlagendes Herz).

Nur in ganz wenigen Ausnahmsfällen konnte endlich die Vorherrschaft der normalen Sinusreize durch die Einwirkung sehr starker Einzelinduktionsschläge auf die Gegend des A. V.-Trichters für geraume Zeit dadurch unterdrückt werden, daß die daselbst ausgelöste Automatie zu länger andauerndem „Wühlen und Wogen“ der Herzkammer führte. Dasselbe trat mehrmals nach einer verschieden langen Latenz ein und gab sich dann bald in einer sehr regelmäßigen Kurvenform kund, indem der Kammer-Schreibhebel, noch nicht ganz zur Abszisse herabgesunken, eine vollkommen gleichmäßige Kurve von kleinsten und hochfrequenten Pulsationsschwankungen, teilweise in Alternansform, aufzeichnete; der Vorhof setzte dagegen seine vom Sinus abhängige Tätigkeit ungestört fort. Als Beispiel für das hier geschilderte Verhalten sei Fig. 8 wiedergegeben, die nur Beginn und Ende der automatischen Kammertätigkeit zeigt, welche im ganzen fast 3 Min. lang anhielt.

Diese automatischen Vorgänge an der Kammer können endlich in Form der schon früher erwähnten, spontanen mehrfachen Extrasystolen

---

[1]) Von mehrfachen Vorhof- und Kammerextrasystolen nach Einzelreizung an der A. V.-Grenze hatte bereits auch Engelmann (1895) berichtet.

abklingen, zwischen denen bereits wieder normale Ventrikelpulse auftreten. Damit zeigt sich ohne weiteres der Zusammenhang dieser Erscheinungen, die nur der Ausdruck verschieden starker automatischer Erregungszustände innerhalb des A. V.-Trichters darstellen.

War am spontan schlagenden Herzen das Auftreten einer automatischen Reizbildung im A. V.-Trichter, wie sie sich durch länger anhaltendes Kammerwühlen kund gab, durch starke Reizung mit Einzelinduktionsschlägen nur ausnahmsweise hervorzurufen, so gelang dies schon durch schwache faradische Reizungen der A. V.-Trichtergegend verhältnismäßig leicht (s. Fig. 9.).

Auch hier erfolgte öfters am Schluß des Wühlens als Ausdruck des Abklingens des Erregungszustandes im A. V.-Trichter eine automatische Kammerkontraktion, die von einem gleichzeitigen Vorhofpuls begleitet sein kann, worauf nach der etwaigen postundulatorischen Pause wieder der normale Sinusrhythmus einsetzte. Dies steht in Analogie mit der Beobachtung Winterbergs (1909), daß am Säugetierherzen nach dem Flimmern automatische Kammerkontraktionen auftreten können.

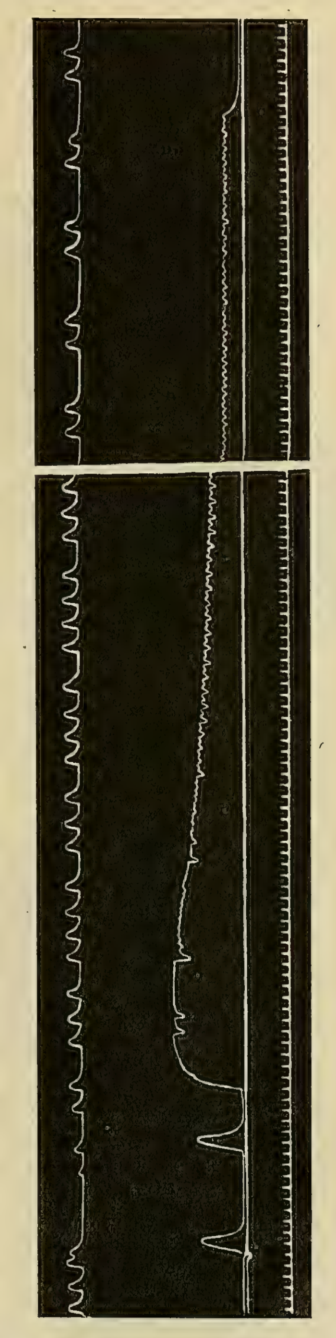


Fig. 8.

Ausbildung eines lang andauernden automatischen Erregungszustandes an der Kammer nach starker Reizung der A. V.-Trichtergegend durch einen Induktionsdoppelschlag (bei 0 mm R. A.). Nur Anfangs- und Schlußteil der Kurve reproduziert; (spontan schlagendes Herz).

Hat nach Aufhören des Kammerwühlens das Sinusgebiet wieder die Führung über sämtliche Herzabschnitte zurückgewonnen, so kann dennoch einige Zeit lang ein gewisser

Wettstreit zwischen der Automatie dieses normalen Reizbildungsortes und des A. V.-Trichters bestehen: der Sinus hat zwar wieder die Oberhand, der normale Rhythmus wird aber zeitweise durch spontan auftretendes Wühlen oder wenigstens durch automatische, mehrfache Extra-

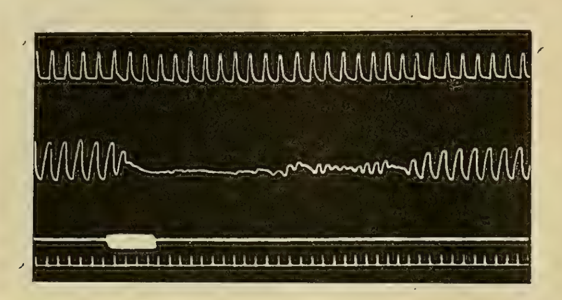


Fig. 9.
Schon schwache faradische Reizung der A. V.-Trichtergegend (bei 160 mm R. A. und 5″ Dauer) löst an der Kammer länger nachhaltendes Wühlen aus, während die Vorhoftätigkeit unverändert bleibt. Hierauf wieder normale Herzschlagfolge; (spontan schlagendes Herz).

systolen der Kammer unterbrochen, bis schließlich die Trichterautomatie wiederum ganz latent geworden ist. In einigen Fällen ging dagegen das Kammerwühlen zunächst unmittelbar in fast oder vollkommen gleichzeitiges Schlagen von Kammer und Vorhöfen über, wobei

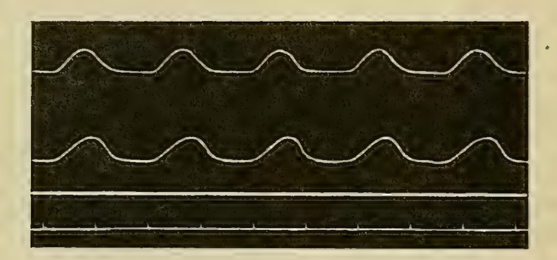


Fig. 10.
A. V.-Rhythmus (vollkommen gleichzeitiges Schlagen von Vorhof und Kammer) nach mehrmaligen Faradisationen der Gegend des A. V.-Trichters, bei größerer Geschwindigkeit der Schreibfläche registriert; (spontan schlagendes Herz).

also die durch die wachgerufene Trichterautomatie bedingte unkoordinierte Kammertätigkeit einer regelmäßigen a. v. Schlagfolge gewichen ist, worauf dann erst der ursprüngliche Sinustakt zurückkehrte; hierfür ist in Fig. 10 ein Beleg gegeben.

Viel öfters entwickelte sich aber aus dem anfänglichen Kammerwühlen, das durch faradische Reizung der A. V.-Trichtergegend ausgelöst wurde, entweder sehr bald oder erst nach einiger Zeit der schon früher beschriebene hochfrequente, automatische Kammerrhythmus; derselbe zeigte sich ebenfalls wie das Wühlen von der Vorhoftätigkeit unabhängig und hielt bisweilen sehr lange in ganz regelmäßiger Form an, so daß sich dadurch der Ventrikel geraume Zeit der Führung des Sinus entzog. Fig. 11 stellt den Beginn einer solchen sehr frequenten automatischen Kammerpulsation dar, wie sie hier in sehr regelmäßiger Pulsus alternans-Form nach faradischer Reizung der Gegend des A. V.-Trichters auf längere Zeit hin auftrat.

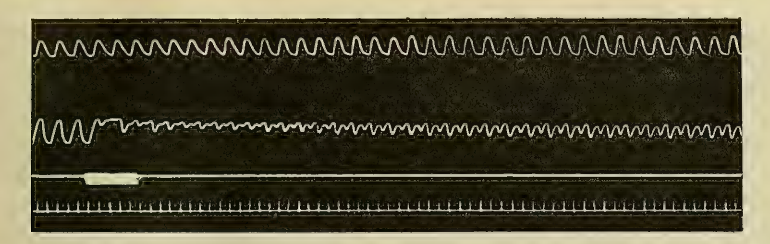


Fig. 11.
Mäßig starke Trichterfaradisation (bei 110 mm R. A. und 5″ Dauer) löst bereits einen über 2 Minuten lang anhaltenden automatischen Kammerrhythmus hoher Frequenz (Typus des Pulsus alternans) bei unveränderter Vorhofsschlagfolge aus. Kurve nur zum Teil reproduziert; (spontan schlagendes Herz).

Dieser hochfrequente, automatische Kammerrhythmus läßt sich der sog. „extrasystolischen Tachykardie“ des Warmblüters gegenüberstellen bzw. entspricht dem regelmäßigen „Herzflattern“ desselben. Die Frequenz kann sich aber auch an der Froschherzkammer niedriger gestalten, so daß die einzelnen Kontraktionen an Ausmaß gewinnen; stets aber bleibt dabei die Frequenz des automatisch schlagenden Ventrikels höher als die des Vorhofes. Fig. 12 zeigt einen solchen Fall vollkommen dissoziierter Vorhof- und Kammertätigkeit, die durch Faradisation der Gegend des A. V.-Trichters hervorgerufen wurde.

Wie am sinuslosen Herzen, so habe ich auch am spontan schlagenden untersucht, wie weit eine experimentell vorgenommene Erwärmung die schlummernde Automatie im A. V.-Trichter erwecken kann, so daß letztere die Führung der Herzschlagfolge zu übernehmen vermag. Durch totale Erwärmung des Herzens war dies jedoch nicht zu erreichen, was übrigens auch unschwer erklärlich ist, wenn man berücksichtigt,

daß damit auch der Ort der normalen Herzreizbildung im Sinus venosus auf höhere Temperatur gesetzt und daher in seiner Tätigkeit gesteigert wird, so daß dadurch einem Durchbruch der eventuell verstärkten latenten Automatie im A. V.-Trichter vorgebeugt wird. Am Schildkrötenherzen hatte dagegen Gewin (1906), wie schon früher erwähnt, bei Erwärmung des ganzen Tieres die Trichterautomatie wenigstens zeitweise durchbrechen gesehen. Am spontan schlagenden Froschherzen gelang es mir jedoch wiederum durch lokale Erwärmung der unteren A. V.-Trichtergegend, die ich teils mit der oben beschiebenen Thermode, teils mit Hilfe einer mäßig (elektrisch) erwärmten Thermokauterschlinge vornahm, in einzelnen Fällen die Automatie im A. V.-Trichter auszulösen,

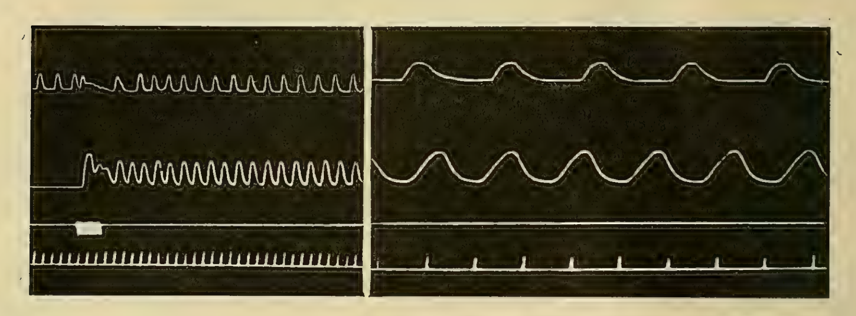


Fig. 12.
Nach faradischer Reizung der A. V.-Trichtergegend (bei 30 mm R. A. und von 3″ Dauer) vollständige Dissoziation zwischen Vorhof- und Kammerschlagfolge; auf 18 Vorhofkontraktionen kommen 21 Ventrikelpulse. Vorher bestand infolge totalen Blockes Kammerstillstand. Rechts ist die dissoziierte Herztätigkeit bei größerer Geschwindigkeit der Schreibfläche verzeichnet; (spontan schlagendes Herz).

so daß dann der Sinusrhythmus in die a. v. Schlagfolge überging. In anderen Fällen erfolgten nach lokaler Erwärmung der Gegend des A. V.-Trichters an der Kammer wenigstens einzelne automatische Kontraktionen oder es trat einige Male an letzterer auch überdauerndes Wühlen ein. Da dies aber bei meinen Erwärmungsversuchen nur ausnahmsweise zu beobachten war, erscheint die Annahme Gewins, daß bei dem durch elektrische Reize ausgelösten Wühlen die so geringfügige Stromwärme das wirksame Moment sei, allein dadurch widerlegt, abgesehen davon, daß diese Auffassung schon an und für sich recht wenig Wahrscheinlichkeit an sich hatte.

In einer Reihe von Versuchen unterstützte ich endlich die Wirkung der lokalen Erwärmung der A.-V.-Trichtergegend noch dadurch, daß ich

gleichzeitig eine isolierte Kühlung des Sinusgebietes bewirkte, indem ich daselbst eine kleine, mit Eiswasser durchströmte Röhrenschlinge (aus Messing) anlegte oder die genannte Herzpartie direkt mit eisgekühlter physiologischer Kochsalzlösung öfters bepinselte. Damit wurde die Intensität der normalen Herzreizbildung künstlich herabgesetzt, so daß die Automatie des A. V.-Trichters leichter zum Durchbruch kommen konnte. Bei alleiniger Sinuskühlung trat jedoch nur in einem Fall der a. v. Rhythmus auf, während dies beim Säugetierherzen nach den Beobachtungen von Ganter und Zahn (1911 u. 1912) sowie von Brandenburg und Hoffmann (1911) durch lokale Abkühlung des Sinusknotens viel leichter zu erzielen ist.

Bereits bei den hier besprochenen Versuchen am spontan schlagenden Froschherzen, bei denen durch faradische Reizungen der A. V.-Trichtergegend mehr oder minder lang überdauerndes Kammerwühlen ausgelöst werden konnte, fiel es auf, daß öfters eine beträchtliche intrakardiale Vagusmiterregung erfolgte, die sich vor allem am Vorhof, unter Umständen aber auch noch später an der Kammer in Form einer negativ inotropen und chronotropen Wirkung kund gab, wie dies z. B. in Fig. 13 der Fall ist.

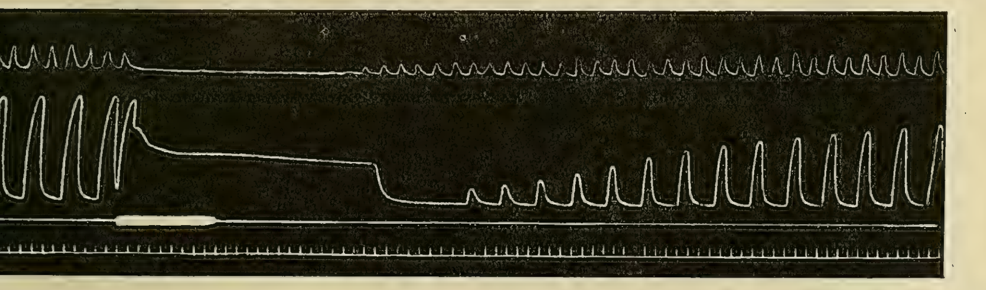


Fig. 13.
Überdauerndes Kammerwühlen nach schwacher faradischer Reizung der A. V.-Trichtergegend (bei 140 mm R. A. und von 9″ Dauer); zugleich starke intrakardiale Vagusmiterregung. Die partielle Überleitungsstörung bestand schon vor der Reizung; (spontan schlagendes Herz).

Es wurde schon bei dieser Gelegenheit von mir die Vermutung ausgesprochen, daß diese unbeabsichtigte Mitreizung der Vagusendfasern vielleicht das Nachwühlen der Kammer begünstigt habe, um so mehr, als ich

beobachten konnte, daß ausnahmsweise nach öfteren Faradisationen des Vagusstammes nachträglich auch spontanes Kammerwühlen auftreten kann (s. Fig. 14).

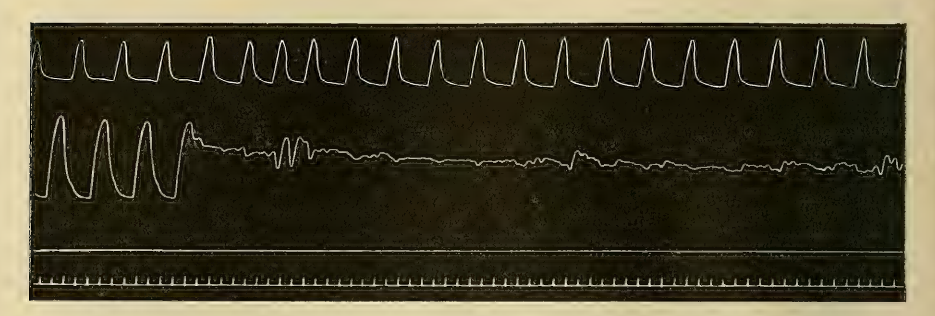


Fig. 14.
Spontanes Wühlen der Kammer nach wiederholten Faradisationen des Vagusstammes. (Die Kurve zeigt nur die erste Hälfte des Wühlens.) Nachher wieder normale Herzschlagfolge; (spontan schlagendes Herz).

Anderseits ließ sich feststellen, daß zum Zustandekommen von überdauerndem Wühlen der Kammer eine solche Vagusmitreizung sicher nicht notwendig ist, da letztere oft ganz fehlte und trotzdem der Ventrikel auf elektrische Reizung der A. V.-Trichtergegend hin bisweilen lange nachwühlte.

Diese Frage habe ich nun in weiteren Versuchen (1914) des näheren behandelt; ich ging dabei so vor, daß gleichzeitige Faradisationen der A. V.-Trichtergegend und des Vagusstammes ausgeführt wurden, während dazwischen zwecks Vergleiches der Wirkungen gleich starke und lange faradische Reizungen der Gegend des A. V.-Trichters allein erfolgten. Die Herztätigkeit wurde dabei ausschließlich mittels Doppelsuspension von Kammer und (linkem) Vorhof registriert. Die Faradisationen der Vagi fanden möglichst weit zentralwärts, also vom Herzen selbst genügend weit entfernt statt, so daß eine Einwirkung von Stromschleifen auf dasselbe vollkommen ausgeschlossen war.

Das Ergebnis dieser Versuche ging nun einwandfrei dahin, daß Vagusreizungen das Entstehen von überdauerndem Wühlen am Froschherzen oft in hohem Maße befördern. Dies gab sich am deutlichsten darin kund, daß schwache, faradische Reizungen der A. V.-Trichtergegend, die allein zu keinem oder fast keinem überdauernden Kammerwühlen führten, in Verbindung mit einer Faradisation des Vagus mehr oder minder lang überdauerndes Wühlen am Ventrikel auslösten (vgl. Figur 15).

Sind stärkere faradische Trichterreizungen von einer ausgesprochenen intrakardialen Vagusmiterregung begleitet, so kann unter Umständen schon dadurch sehr lang nachhaltendes Wühlen der Kammer hervorgerufen werden, was bereits in früheren Versuchen öfters der Fall war.

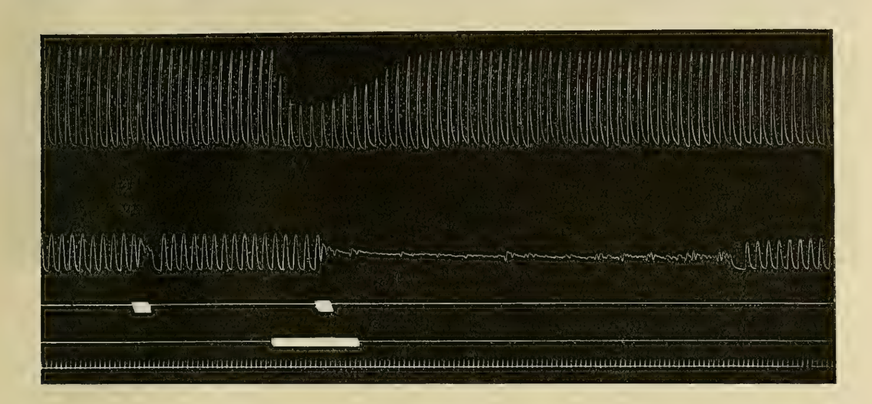


Fig. 15.
Schwache Faradisation der Gegend des A. V.-Trichters (bei 170 mm R. A. und von 3″ Dauer) bleibt ohne Nachwirkung, bei gleichzeitiger faradischer Reizung des Vagusstammes (40 mm R. A. und 18″ Dauer) tritt dagegen 80″ lang überdauerndes Kammerwühlen auf. Am Vorhof nur negativ inotrope Vaguswirkung; sodann Wiederaufnahme der normalen Herzschlagfolge. Die obere Reizlinie gibt die Herzfaradisationen, die untere die faradischen Reizungen des N. vagus an; (spontan schlagendes Herz).

Was hier über den Einfluß von Vagusreizungen auf das Kammerwühlen mitgeteilt wurde, gilt ferner in vollkommen gleicher Weise auch für jenen mehr oder minder frequenten, automatischen Kammerrhythmus, der, wie oben erwähnt, bisweilen auf geraume Zeit durch elektrische Reizung der Gegend des A. V.-Trichters anstatt des Wühlens ausgelöst werden kann. Fig. 16 entstammt z. B. einem solchen Versuche, bei dem jener frequente, automatische Kammerrhythmus über 10 Minuten lang anhielt.

Dieser die automatische Reizbildung begünstigende Einfluß von Vaguserregungen gab sich ferner auch darin kund, daß bereits ganz schwache Faradisationen der Gegend des A. V.-Trichters, die für sich allein nicht einmal direkt Wühlen bewirken, im Verein mit einer faradischen Vagusreizung zu überdauerndem Kammerwühlen bzw. zu jenem frequenten automatischen Kammerrhythmus führen; abgesehen von der erhöhten Anspruchsfähigkeit der a. v. Automatiebildungsstätte dürfte daher bei

der Einwirkung des erregten Vagus auch eine direkte Steigerung der Erregbarkeit der Herzmuskulatur in Betracht kommen (s. Fig. 17).

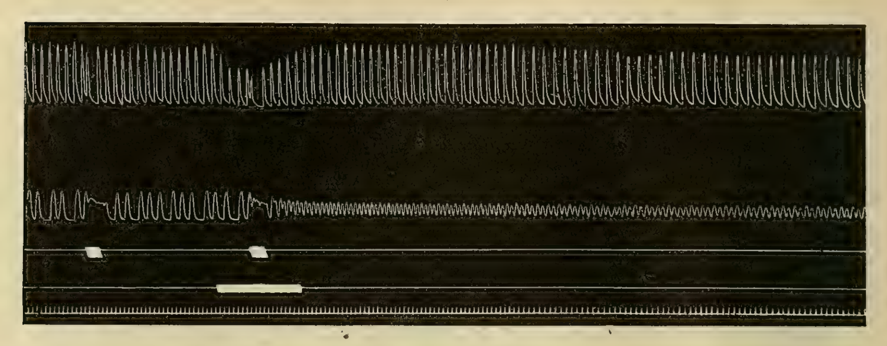


Fig. 16.
Alleinige faradische Reizung der Trichtergegend (bei 120 mm R. A. und von 3″ Dauer) weist fast keine Nachwirkung auf, bei gleichzeitiger Vagusfaradisation (20 mm R. A. und 20″ Dauer) entsteht eine hochfrequente, automatische Kammerpulsation, die über 10 Minuten lang andauert; Vorhoftätigkeit dabei unverändert. Nur Beginn der Kurve reproduziert; (spontan schlagendes Herz).

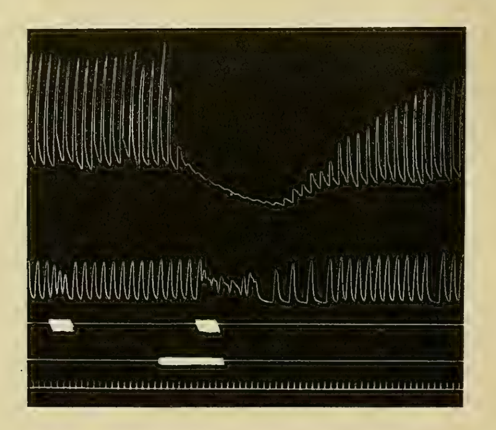


Fig. 17.
Schwache Faradisation der A. V.-Trichtergegend (bei 165 mm R. A. und von $3^1/_2$″ Dauer) bewirkt nur Frequenzsteigerung der Kammertätigkeit, bei gleichzeitiger faradischer Vagusreizung (150 mm R. A. und 11″ Dauer) erfolgt dagegen kurz überdauerndes Wühlen; (spontan schlagendes Herz).

Die hier besprochenen Befunde stehen in Beziehung zu den Angaben von Frank (1899) und Walther (1899), daß durch gleichzeitige Vagus- und Herzreizung am Froschventrikel unter Umständen ein echter Teta-

nus hervorgerufen werden kann, wie ein solcher auch schon von Cyon (1866) und Aristow (1879) durch elektrische Reizung des Herzens im Wärmestillstand erzielt worden war. Ich habe bei meinen zahlreichen Versuchen mit elektrischer Einzelreizung des A. V.-Trichters nur zweimal einen automatisch bedingten, wahren tetanischen Zustand mit deutlicher Superposition beobachten können, wobei in dem einen Fall (Fig. 8) eine merkliche intrakardiale Vagusmitreizung statthatte. Bei den soeben besprochenen Versuchen mit kombinierten Trichter- und Vagusfaradisationen trat dagegen nie ein echter Herztetanus mit nachweisbarer Superposition auf; nur in einem Falle stellte sich schon nach alleiniger Vagusreizung spontanes Kammerwühlen ein, das zu Beginn deutliche Superposition erkennen ließ, wie Fig. 18 zeigt.

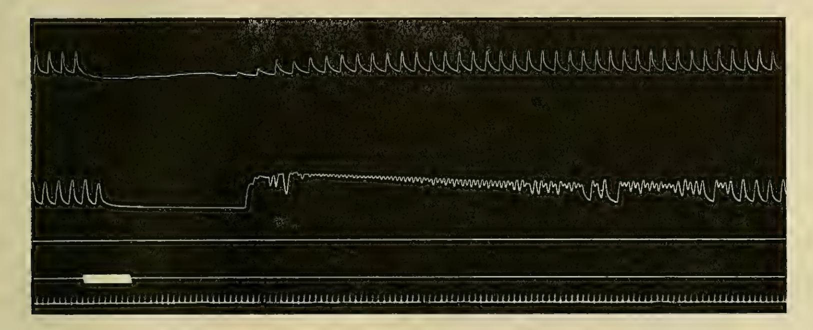


Fig. 18.

Spontanes Kammerwühlen nach alleiniger Vagusfaradisation (150 mm R. A. und 9″ Dauer), die zunächst Vorhof- und Kammerstillstand bewirkte. Zu Beginn des Wühlens deutliche Superposition, später wieder normale Herzschlagfolge; (spontan schlagendes Herz).

Wurden schließlich die Faradisationen der unteren A. V.-Trichtergegend bei großer Reizstärke ausgeführt, so gingen Stromschleifen auch auf die Vorhöfe über, die dann nicht wie sonst ungestört weiterschlugen, sondern ebenfalls in überdauerndes Wühlen bzw. hochfrequente, automatische Pulsation verfielen. Gleichzeitig ausgeführte Vagusreizungen hatten nun auch hier den gleichen begünstigenden Einfluß wie an der Kammer und kann derselbe sogar noch ausgesprochener sein als an letzterer. Einen derartigen Reizerfolg gibt Fig. 19 wieder; nach kombinierter Herz-Vagusfaradisation trat am Vorhof eine hochfrequente, automatische Pulsation auf, die beträchtlich länger anhielt als der etwas weniger frequente Kammerrhythmus.

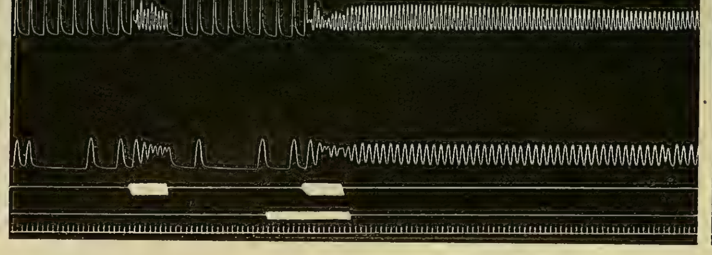
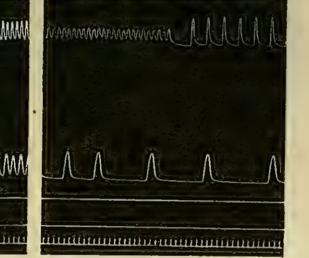



Fig. 19. Alleinige Trichterfaradisation (0 mm R. A. u. 7″ Dauer) hat keine Nachwirkung; bei gleichzeitiger Vagusreizung (0 mm R. A. u. $16^1/_2$″ Dauer) tritt eine hochfrequente, automatische Vorhofpulsation (fast 5 Min. andauernd) und eine weniger frequente Kammerpulsation (98″ lang während) auf. Später wieder normale Herzschlagfolge, abgesehen vom partiellen Block, der schon vor der ersten Reizung bestand. Die Kurven zeigen nur Beginn und Schluß der Erscheinungen; (spontan schlagendes, atropinisiertes Herz).

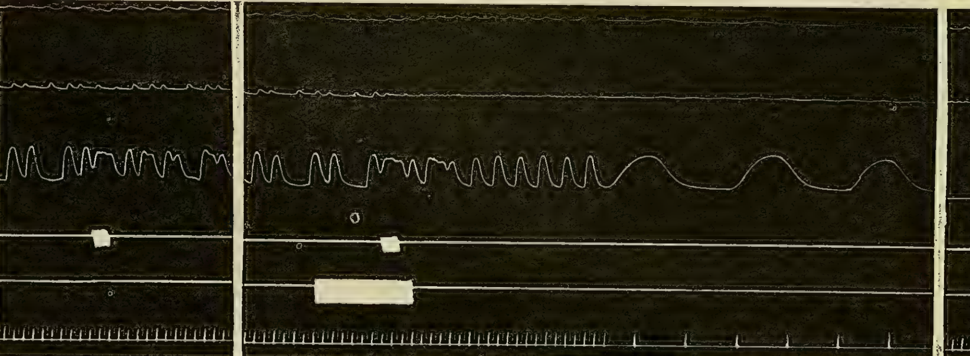
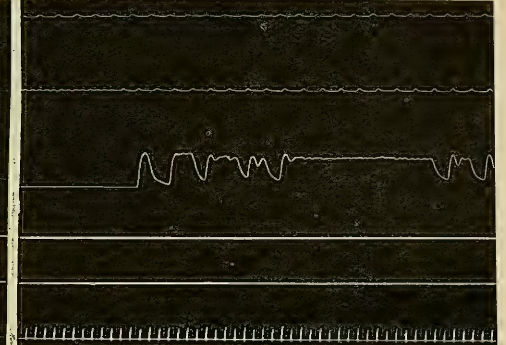



Fig. 20. Faradische Reizung der Trichtergegend (30 mm R. A. u. $1^3/_4$″ Dauer) bewirkt nur nachträglich einzelne Extrasystolen, bei gleichzeitiger Vaguserregung (0 mm R. A. u. 10″ Dauer) tritt an der Kammer kurz dauerndes Wühlen, am Vorhof gegen 2 Min. anhaltendes Nachwühlen auf. Sinusschlagfolge (oberste Kurve) bleibt unverändert; die Kammer schlägt während des Vorhofwühlens vom Sinus vollkommen unabhängig in selbständigem Rhythmus automatisch. Später wieder normale Vorhoftätigkeit, an der Kammer spontanes Wühlen bzw. doppelte Extrasystolen. Die Figur zeigt nur Beginn und Ende der Erscheinungen, zum Teil bei größerer Geschwindigkeit registriert; (spontan schlagendes Herz).

In späteren Versuchen (1915) wurden die Herzreizungen an den Vorhöfen selbst ausgeführt, indem die Elektrodennadeln nicht wie früher knapp unterhalb der A. V.-Grenze in die Kammerbasis, sondern entweder innerhalb oder auch etwas vorhofwärts von der A. V.-Grenze eingesteckt wurden, so daß der Vorhofsteil des A. V.-Trichters der direkten Faradisation unterzogen wurde. Trat dann besonders bei gleichzeitiger Vagus- und Trichterreizung länger andauerndes Vorhofwühlen auf, so schlug die Kammer öfters anscheinend normal weiter. Daß aber diese Schlagfolge von der Sinustätigkeit vollkommen unabhängig und daher als automatische zu bewerten ist, ergab die dreifache Suspension des Herzens an Sinus, Vorhof und Kammer, wobei sich zeigte, daß während des Vorhofwühlens zwischen der Sinus- und Kammerschlagfolge eine vollständige Dissoziation bestand. Andernfalls hätten ja die normalen Sinuserregungen über die wühlenden Vorhöfe hinweg zur Kammer vordringen müssen, was wohl im vorhinein schon als recht unwahrscheinlich zu bezeichnen und tatsächlich, wie die graphische Registrierung ergab, auch nicht der Fall ist (vgl. Fig. 20).

Am Schildkröten- und Säugetierherzen war bereits von Langendorff (1902), am Hundeherzen später auch von Kronecker und Spallitta (1904) beobachtet worden, daß während des infolge Tetanisierung auftretenden Vorhofflimmerns die Kammern regelmäßig weiterschlagen können. Die genannten Autoren hatten jedoch über die Beziehung dieser Kammerschlagfolge zur Pulsation des Sinus venosus bzw. des Hohlvenengebietes keine nähere Angabe gemacht, aus der sich hätte erschließen lassen können, ob jene Ventrikelpulse von den normalen Reizbildungsstätten aus bedingt werden oder ob sie automatischer Natur sind. War ersteres, wie schon erwähnt, allerdings von Anfang an kaum anzunehmen, so muß wohl auf Grund meiner Versuchsergebnisse auch für das Säugerherz die automatische Entstehung jener Kammerkontraktionen als sicher angesehen werden.

Erfolgt dagegen am Froschherzen während des Vorhofwühlens im A. V.-Trichter eine für das Auftreten automatischer Kammerschlagfolge nicht genügende Reizbildung, so verfällt die Kammer in Stillstand, um sich nach Beendigung des Vorhofwühlens dem gemeinsamen Rhythmus wieder anzuschließen.

Ebenso wie an der Kammer können ferner auch am Vorhof statt des Wühlens nur vereinzelte, in die normale Schlagfolge eingeschaltete automatische Extrasystolen erscheinen, die so der Ausdruck einer schwächeren Reizbildung im A. V.-Trichter sind und damit gleichsam die Anfangsstufe des Wühlens darstellen. Treten diese eingeschobenen

automatischen Extrasystolen regelmäßig auf, so können sie zur Bildung eines Pulsus bigeminus führen (Fig. 21).

Auch in dieser Hinsicht liegen hier die Verhältnisse analog wie beim Warmblüterherz. Für dieses hat zuerst H. E. Hering (1901) auf die wahrscheinlich sehr nahe Beziehung der Extrasystolen zum Herzflimmern aufmerksam gemacht und diese Auffassung später noch öfters vertreten (1906 und 1910). Als Grundform wurde von ihm der Pulsus bigeminus aufgestellt, der, wie er (1900) feststellen konnte, durch Extrasystolenbildung zustande kommt. Ferner gelangte auch Winterberg (1907 und 1909) zu der Anschauung, daß zwischen dem Flimmern des

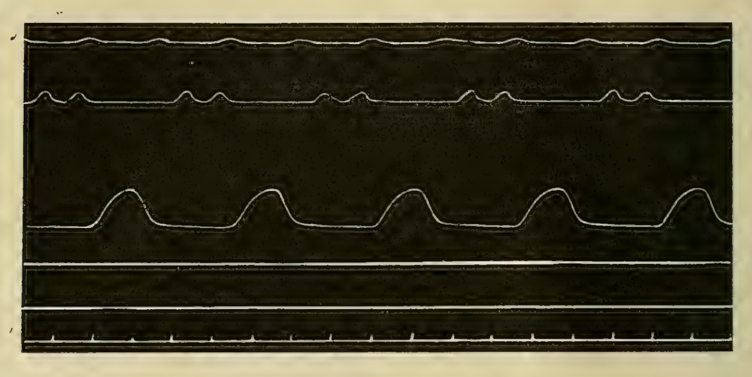


Fig. 21.
Auftreten von Bigeminuspulsen am Vorhof nach wiederholten vorhofwärts ausgeführten faradischen Reizungen des A. V.-Trichters; Sinusschlagfolge dabei unverändert. Bei größerer Geschwindigkeit registriert; (spontan schlagendes Herz).

Warmblüterherzens und den extrasystolischen Arrhythmien enge Beziehungen bestehen. Auch werden beide Erscheinungen durch Vagus- und Akzeleransreizungen im selben befördernden Sinne beeinflußt und desgleichen läßt sich in Fällen von klinischer sporadischer Extrasystolie dieselbe nach H. E. Hering (1911) durch Vagusdruck steigern.

Ferner begünstigen eventuell auch Vaguserregungen an und für sich das Übergreifen automatischer Vorgänge von der Kammer zu den Vorhöfen, so daß an diesen während des Kammerwühlens plötzlich frequente, automatische Pulse auftreten können; letztere sind sicher nicht auf Stromschleifenwirkung zurückzuführen, da sie unter Umständen erst nach der faradischen Trichterreizung erfolgen, wenn bereits das Wühlen der Kammer die Faradisation überdauert, wie dies z. B. in Fig. 22 der Fall ist.

Dagegen ließ sich nicht feststellen, daß Vagusreizungen das Auftreten der a. v. Schlagfolge, also gleichzeitiger Pulsation von Vorhof und Kammer erleichtern. Der Eintritt derselben bleibt auch nach kombinierter Trichter- und Vagusreizung am spontan schlagenden Froschherzen eine seltene Ausnahme, wie dies schon für die Fälle alleiniger Trichterfaradisationen früher angegeben wurde. Daß die Ausbildung der typischen a. v. und ventrikulären Automatie durch Vagus- bzw. Vagus- und Akzeleransreizungen begünstigt werden kann, ist für das Schildkrötenherz durch Lohmann (1904), für das Warmblüterherz bereits durch Mc William (1888), Roy und Adamy (1892), Lohmann (1904), sowie neuerdings durch Rothberger und Winterberg (1910 und 1911) bekannt geworden.

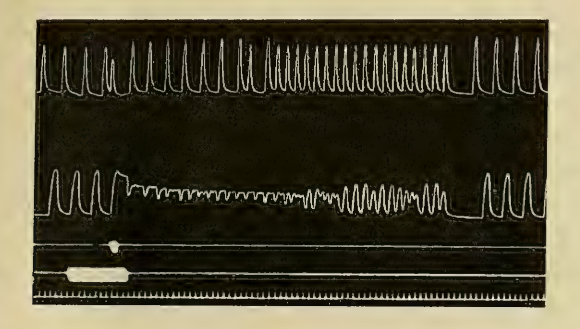


Fig. 22.
Überdauerndes Kammerwühlen nach kombinierter Trichter- und Vagusfaradisation (80 mm R. A. und 1″ bezw. 11″ Dauer), mit einigen automatischen Kammerpulsen abschließend; Vorhoftätigkeit zunächst unverändert, dann plötzlich in frequente, automatische Pulsation übergehend. Hierauf nach einer kurzen Vorhof- und Kammerpause wieder ursprüngliche Herzschlagfolge; (spontan schlagendes Atropinherz).

Die in meinen Versuchen ausgeführten Vagusreizungen am Frosche entsprechen kombinierten Vagus-Akzeleransreizungen am Warmblüter; da sie nach Atropinisierung zu denselben Ergebnissen führten (vgl. Fig. 19 und 22), muß der in Rede stehende Einfluß des erregten Vagus zum mindesten teilweise durch seine fördernden Fasern vermittelt sein. Meine Befunde stellen sich so in gute Übereinstimmung mit Tatsachen, die schon für das Flimmern des Warmblüterherzens gefunden worden sind. Daß diesem das „Wühlen und Wogen“ des Kaltblüterherzens vollkommen entspricht, ist ja durch die Untersuchungen von Langendorff (1897) und Bätke (1898) gezeigt worden, insofern ersterer am

künstlich durchströmten, überlebenden Warmblüterherzen durch Abkühlung das rasche Flimmern in langsameres Wühlen verwandeln konnte, und letzterer das erwärmte Kaltblüterherz typisch flimmern sah. Für das Warmblüterherz hatte aber bereits Knoll (1894 und 1897) angegeben, daß nach Vagusreizungen Herzflimmern auftreten kann, und in neuerer Zeit hat auch Winterberg (1907) nachweisen können, daß Vaguserregungen die Ausbildung des Flimmerzustandes merklich befördern, was nach seinen mit Rothberger gemeinsam ausgeführten, späteren Untersuchungen (1911) besonders bei gleichzeitiger Akzeleransreizung der Fall ist. Es haben sich also auch in dieser Hinsicht die Verhältnisse am Kalt- und Warmblüterherzen prinzipiell vollkommen analog erwiesen.

Dies gilt aber auch für die Art der Auslösung dieses inkoordinierten Erregungszustandes. So wie das überdauernde Wühlen und Wogen des Kaltblüterherzens vor allem durch elektrische Reizung der mittleren A. V.-Gegend, mithin der Stelle der A. V.-Verbindung hervorgerufen werden kann — was mich ja neben anderen Momenten zur Auffassung führte, daß die automatischen Wühlreize im A. V.-Trichter gebildet werden —, ebenso habe ich in Versuchen am Warmblüterherzen (1916) festgestellt, daß die mittlere Kammerbasis der Prädilektionsort für die Auslösung des anhaltenden Kammerflimmerns ist; dagegen konnte solches z. B. durch ganz analoge Reizung der Herzspitze entweder gar nicht (bei Meerschweinchen) oder meist doch nur für kurze Zeit (bei jungen Kaninchen) bewirkt werden. Diese Befunde sprechen wohl entschieden dafür, daß auch die automatischen Reize für das spontane Herzflimmern des Warmblüters im a. v. Verbindungssystem entstehen, welche Anschauung ich bereits in meinem Vortrag ,,Das Herzflimmern" (1914) ausgesprochen hatte. Bei dieser Gelegenheit wurde von mir auch schon darauf hingewiesen, daß der sogenannte Kroneckersche Herzstich „an der unteren Grenze des oberen Drittels der Kammerscheidewand", der am Säuger Herzflimmern verursacht, wohl eine Verletzung und damit starke Reizung des a. v. Verbindungsbündels bedingt haben mag, so daß in diesem ein so heftiger automatischer Erregungszustand zustande kam. Diese Auffassung war schon früher von F. B. Hofmann (1909) angedeutet worden, wärend ja Kronecker (1884) zuerst die Zerstörung eines hypothetischen ,,Koordinationszentrums", später (1897) die Erregung eines ,,intrakardialen Gefäßnervenzentrums" und die dadurch angeblich bewirkte Herzanämie als Ursache für das auftretende Herzflimmern angenommen hatte. Daß aber letztere als solche nicht maßgebend in Betracht kommen kann, hat später Langendorff (1895 und 1898) am überlebenden und

künstlich durchströmten Säugerherzen gezeigt, bei dem vollkommene Absperrung der Blutdurchströmung nicht zum Flimmern führt oder wenigstens nicht dazu führen muß. Übrigens spricht für die von mir vertretene Anschauung über den Entstehungsort des Herzflimmerns auch eine Beobachtung Lohmanns (1904), daß am Hundeherzen Stichverletzung in der Gegend des a. v. Übergangsbündels Herzflimmern bedingte. Endlich kommen hier auch neuere klinische Beobachtungen in Betracht, nach denen es bei Erkrankungen des Hisschen Bündels öfters besonders zu Vorhofflimmern kommen kann, wie dies z. B. Cohn und Lewis (1912), Falconer und Dean (1912), Taussig (1912), Cohn und Heard (1913) u. A. angegeben haben.

Wie am spontan schlagenden Herzen, so führte ich ferner die hier besprochenen Versuche mit gleichzeitigen Trichter- und Vagusreizungen auch am sogenannten „Scheidewandnervenpräparat", nach F. B. Hofmann (1898) hergestellt, aus, wobei Sinus und Vorhöfe nur mehr durch die beiden Scheidewandnerven mit der Kammer in Verbindung stehen. Diese Versuche hatten nun bezüglich des Einflusses des Vagus vollkommen

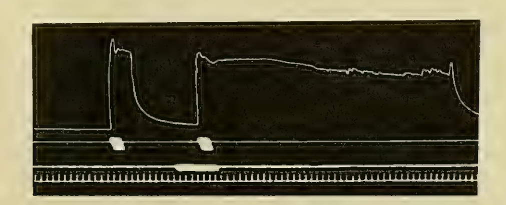


Fig. 23.
Faradisation der A. V.-Trichtergegend (bei 100 mm R. A. und von 2″ Dauer) bedingt nur ganz kurzes Nachwühlen der Kammer, bei gleichzeitiger Vagusreizung (120 mm R.-A. und 7″ Dauer) überdauert es 42″ lang; (Scheidewandnervenpräparat).

analoge Ergebnisse, womit also bewiesen ist, daß die hier in Betracht kommenden Fasern mindestens der Hauptsache nach in diesen Bahnen zur Kammer bzw. zum A. V.-Trichter verlaufen. Fig. 23 zeigt den befördernden Vaguseinfluß hinsichtlich des Auftretens von Kammerwühlen, Fig. 24 jenen bezüglich der Ausbildung eines hochfrequenten automatischen Kammerrhythmus.

Dieselbe begünstigende Wirkung von Vaguserregungen zeigte sich ferner auch bezüglich der durch ganz kurze elektrische Reizung der A. V.-

Trichtergegend ausgelösten automatischen Kammerpulsreihen, wofür in Fig. 25 ein Kurvenbeleg gegeben ist.

Daß der das Wühlen befördernde Einfluß von Vagusreizungen sich auch an der sonst stillstehenden Kammer des Scheidewandnervenpräparates kundgibt, ist ferner ein Hinweis dafür, daß er beim spontan schlagenden Herzen nicht nur in der Abschwächung bzw. Fernhaltung

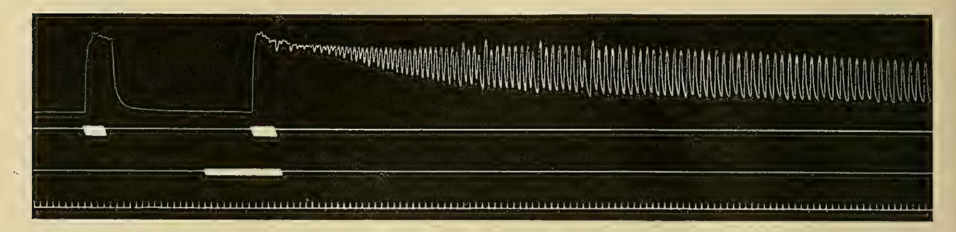


Fig. 24.
Faradische Trichterreizung (bei 0 mm R. A. und von 3″ Dauer) hat fast keine Nachwirkung, nach gleichzeitiger Vaguserregung (30 mm R. A. und $12^1/_2$″ Dauer) entwickelt sich aus dem Nachwühlen eine automatische Kammerpulsation von zunächst sehr hoher Frequenz, die sich allmählich etwas verringert. Die Kurve zeigt nur den Beginn dieser Kammerautomatie, die fast 4 Minuten lang andauert; (Scheidewandnervenpräparat, atropinisiert).

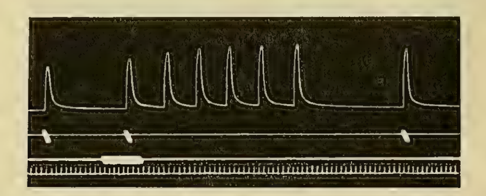


Fig. 25.
Sehr kurze Faradisation der Gegend des A. V.-Trichters (bei 60 mm R. A. und von $^3/_4$″ Dauer) ruft noch keine Kammerautomatie hervor, bei gleichzeitiger Vagusreizung (60 mm R. A. und 8″ Dauer) erfolgen nachträglich noch 5 automatische Ventrikelkontraktionen; (Scheidewandnervenpräparat, atropinisiert).

der normalen Sinusreize von der Kammer besteht, sodaß dadurch an dieser die im A. V.-Trichter gebildeten automatischen Reize leichter die Oberhand gewinnen können. Ferner war in den Versuchen am spontan schlagenden Herzen der in Rede stehende Vaguseinfluß auch dann nachweisbar, wenn infolge totalen Blockes die Kammer bereits still stand, das oben erwähnte Moment also überhaupt gar nicht in Betracht kommen konnte. Weiter ist auch schon bemerkt worden, daß Atropini-

sierung am Versuchsergebnis nichts zu ändern vermochte, was auch für die am Scheidewandnervenpräparat ausgeführten Versuche Geltung hat (s. Fig. 24 und 25). Die hier geschilderte Vaguswirkung kommt also wenigstens zum Teil durch die fördernden Fasern zustande, die teils, wie schon früher erwähnt, die Erregbarkeit der Herzmuskulatur an und für sich steigern, teils die automatische Reizbildung im A. V.-Trichter direkt erhöhen.

Auch wenn nach Herstellung des Scheidewandnervenpräparates die Kammer nicht dauernd stillsteht, sondern spontan oder nach wiederholten Reizungen automatisch schlägt, läßt sich der begünstigende

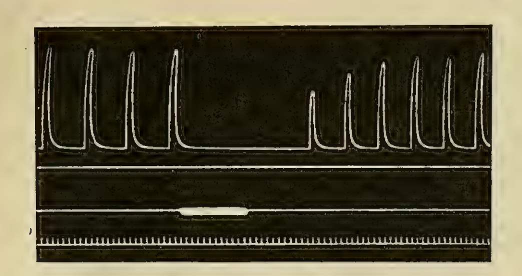


Fig. 26.
Faradische Vagusreizung links (bei 80 mm R. A. und 11″ Dauer) wirkt auf die automatische Schlagfolge des Ventrikels in negativ inotropem und chronotropem Sinne ein; (Scheidewandnervenpräparat, automatische Kammerschlagfolge).

Einfluß von Vagusreizungen auf das durch Trichterfaradisation ausgelöste überdauernde Kammerwühlen nachweisen. Gleichzeitig konnte aber auch festgestellt werden, daß sich die dann wieder auftretende automatische Kammerschlagfolge sowohl durch die Trichterfaradisationen infolge etwaiger intrakardialer Vagusmiterregung als auch durch faradische Reizungen des Vagusstammes selbst nicht nur inotrop, wie dies zuerst F. B. Hofmann (1895) beobachtete, sondern auch in chronotropem Sinne (positiv und negativ) beeinflussen läßt. So zeigt z. B. Fig. 26 eine deutlich negativ inotrope und chronotrope Wirkung auf die automatisch schlagende Kammer bei Faradisation des linken Vagusstammes.

Ferner konnte in einem Fall auffallenderweise durch linksseitige Vagusreizung eine starke positive, durch rechtsseitige jedoch eine deutlich negativ chronotrope Änderung der automatischen Kammertätigkeit bewirkt werden, wie aus Fig. 27 zu ersehen ist, während die negativ inotrope Beeinflussung hier nur recht geringfügig war.

In einer späteren Versuchsreihe (1916) gelang es anderseits, bei faradischer Reizung von halbierten Herzkammern durch intrakardiale Vagusmiterregung in einem Fall eine positiv, in einem anderen eine negativ chronotrope und inotrope Beeinflussung der automatischen Schlagfolge zu bewirken. In den Versuchen mit unmittelbarer Faradisation der Vagusstämme kann das geschilderte verschiedene Ergebnis dadurch bedingt sein, daß die Verteilung der fördernden und hemmenden Fasern im Froschvagus unter Umständen beiderseits differiert. Bei den letzteren Fällen von intrakardialer Vagusmitreizung dürfte dagegen in einer individuell verschiedenen Anspruchsfähigkeit der fördernden und hemmenden Vagusendfasern und wohl auch in einem ungleichen Zustand der Ventrikelmuskulatur an und für sich der Grund für das wechselnde Verhalten des Reizerfolges erblickt werden.

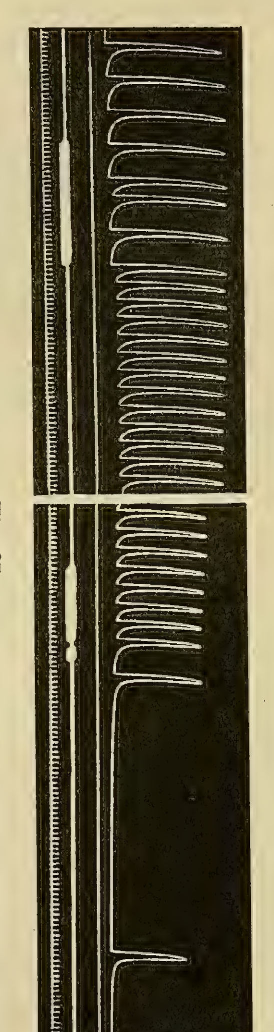


Fig. 27.
Die erste Vagusreizung (links; bei 60 mm R. A. und 25″ Dauer) hat deutlich positiv chronotrope Wirkung, die zweite Vagusreizung (rechts; bei 50 mm R. A. und 17″ Dauer) dagegen einen starken negativ-chronotropen Einfluß; (Scheidewandnervenpräparat, automatische Kammerschlagfolge).

Am Schildkrötenherzen hatte bereits Gaskell (1883) gefunden, daß Vagusreizung auch die automatisch schlagende Kammer zum Stillstand bringen kann. Dagegen war am Froschherzen eine chronotrope Beeinflussung der automatischen Ventrikelschlagfolge noch nicht beobachtet worden, wenn auch bereits Engelmann (1900) die Möglichkeit einer solchen gelegentlich betont hatte. Ferner sei hier auch an den Befund Samojloffs (1910) erinnert, daß Vagusreizung am Frosch die Form des Ventrikelelektrogrammes bei automatischer Schlagfolge in gleicher Weise beeinflußt wie bei normaler Kammertätigkeit.

Auch hier besteht ein weitgehender Parallelismus zwischen dem Verhalten des Kalt- und Warmblüterherzens. So wies am letzteren zuerst

H. E. Hering (1903 und 1905) nach, daß auch die Frequenz der automatischen Kammerschlagfolge einerseits durch Akzeleransreizung erhöht, anderseits durch Vaguserregung vermindert werden kann. Letzteres ist dann durch Rihl (1906), sowie später durch Frédéricq (1912) und Ángyán (1912) bestätigt worden. Ferner haben ebenfalls Rothberger und Winterberg (1910 und 1911) gefunden, daß auf die Reizbildung im A. V.-Knoten der Akzelerans in positiv chronotropem, der Vagus in negativ chronotropem Sinne einzuwirken vermag, zu welch letzterem Ergebnis auch Versuche von Ganter und Zahn (1913) geführt haben.

In weiteren Versuchen an der Froschherzkammer (1916) habe ich endlich eine experimentelle Prüfung vorgenommen, in welcher örtlichen Ausdehnung der A. V.-Trichter zu automatischer Reizbildung befähigt ist und ob sich in ihm in dieser Beziehung bereits eine funktionelle Differenzierung ausgebildet hat. Was zunächst die erste Frage betrifft, so wurden die Versuche derart durchgeführt, daß die Ventrikelbasis, von der A. V.-Grenze ausgehend, so weit mittels Schere abgeschnitten wurde, bis die Automatie, wie sie sich entweder spontan oder infolge elektrischer oder mechanischer Reizung der A. V.-Trichtergegend in Form von längeren Pulsreihen kund gab, vollständig verschwunden war. Genaue Messungen haben dabei ergeben, daß sich die Befähigung zu eigener Automatie in den oberen Basisanteilen des Froschherzens durchschnittlich bis zur Grenze zwischen oberem und mittlerem Kammerdrittel erstreckt. Dies stimmt vollkommen mit der bekannten Bernsteinschen Angabe überein, daß beim Frosch die unterhalb des oberen Kammerdrittels abgequetschte „Herzspitze“ nicht mehr selbständig zu schlagen imstande ist. Die histologische Untersuchung der bei diesen Versuchen gewonnenen automatielosen Kammerstücke konnte daselbst Ausläufer des A. V.-Trichters nicht mehr nachweisen, so daß dieser negative Befund mit dem Ergebnis der physiologischen Untersuchung in vollem Einklang steht.

Zwecks Prüfung der oben erwähnten zweiten Frage, ob die automatische Reizbildung in allen Abschnitten des A. V.-Trichters gleich stark entwickelt ist oder nicht, wurden ferner am Froschventrikel Teilungen in der Frontal- und Sagittalebene vorgenommen und die so erhaltenen Teilstücke auf eigene Automatie mittels elektrischer und mechanischer Reizung ihrer Basisanteile vergleichend untersucht. Bei symmetrischer frontaler Halbierung der Herzkammer besitzen sowohl die dorsale als

auch die ventrale Hälfte in ziemlich gleichem Ausmaße noch das Vermögen zu automatischer Tätigkeit, während sich dieselbe bei ungleicher Teilung je nach der Größe der Teilstücke verschieden stark kundgibt und bei ausgesprochener Asymmetrie oft nur mehr an der größeren Herzhälfte ausgelöst werden kann. Desgleichen weisen nach Sagittalteilung beide Herzkammerhälften eigene Automatie auf, wobei dieselbe ebenfalls an der eventuell größeren stärker ausgebildet ist. Diese Unterschiede sind wohl nur darauf zurückzuführen, daß sich die mechanische Schädigung, wie sie durch die Herzteilungen unvermeidlich ist, an der Muskulatur um so mehr geltend macht, je geringer ihre Masse ist. Da diese Verschiedenheiten in der automatischen Befähigung bei symmetrischen Halbierungen — seien sie nun in der frontalen oder sagittalen Ebene ausgeführt — nicht auftreten, muß das Ergebnis dieser Versuche dahin zusammengefaßt werden, daß die einzelnen Anteile des A. V.-Trichters des Froschherzens in gleichem Maße zu automatischer Reizbildung befähigt sind. In dieser Hinsicht ist demnach am Froschherzen noch keine funktionelle Differenzierung innerhalb der zirkulären A. V.-Verbindung ausgebildet, wie eine solche Nakano (1913) bezüglich der a. v. Erregungsleitung feststellen konnte.

2. Versuche am Schildkrötenherzen.

Die Darstellung der hier erhobenen Befunde soll in möglichster Kürze gegeben werden, da dieselben in den meisten Punkten mit den am Froschherzen gewonnenen Versuchsergebnissen übereinstimmen. So konnten einerseits letztere durch die Untersuchungen am Reptilienherzen weitgehend bestätigt werden, anderseits war es durch die Besonderheiten des neuen Versuchsobjektes möglich, in verschiedener Hinsicht die Kenntnisse über das funktionelle Verhalten der A. V.-Verbindung des Kaltblüterherzens zu ergänzen.

Anschließend an meine am Froschherzen ausgeführten Versuche habe ich bereits auf der 6. Tagung der deutschen physiologischen Gesellschaft zu Berlin (1914) und dann ausführlicher in meiner dritten Abhandlung (1915) über analoge Untersuchungen am Schildkrötenherzen berichtet. Die faradische Reizung der Gegend des A. V.-Trichters erfolgte hier mit ganz feinen Pinces-Elektroden, die knapp unterhalb der A. V.-Grenze in der Mitte der Kammerbasis in die Muskulatur des freigelegten Herzens eingeklemmt wurden; den Tieren war vorher das Zentralnervensystem zerstört worden. Auch in diesen Versuchen kam zur Registrierung der Herztätigkeit die Engelmannsche Suspensionsmethode in Anwendung,

wobei einerseits die Herzspitze, anderseits der rechte Vorhof und in gewissen Versuchen auch der Sinus innerhalb des Tieres suspendiert wurden.

Die an der Schildkröte gegebenen anatomischen Verhältnisse forderten vor allem zunächst dazu auf, die kombinierten Herz-Vagus-Reizversuche hier zu wiederholen, da sich ja bei diesem Tier die Nn. vagi am Halse in beträchtlicher Ausdehnung leicht frei präparieren lassen. Die Versuchsergebnisse waren dabei vollkommen dieselben wie am Froschherzen: faradische Herzreizungen, die allein noch keine nennenswerte Nachwirkung verursachten, bewirkten im Verein mit

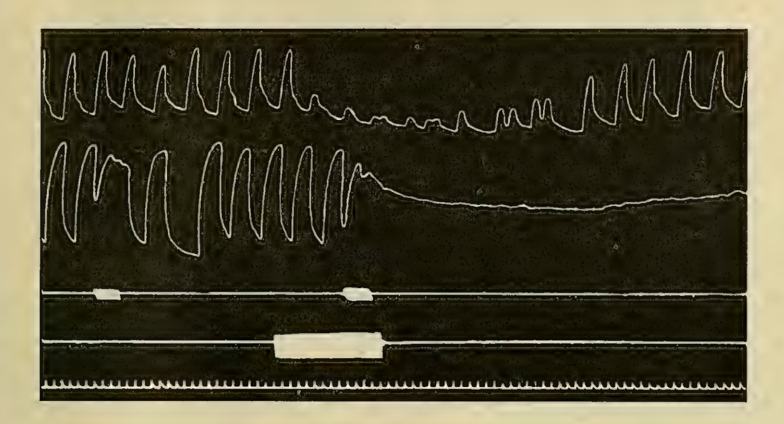


Fig. 28.
Faradische Reizung der A. V.-Gegend allein (bei 80 mm R. A. und von 3″ Dauer) hat fast keine Nachwirkung, bei gleichzeitiger Vagusfaradisation (linke Seite; 0 mm R. A. und 13″ Dauer) tritt dagegen sehr lang (über 3 Minuten) anhaltendes Kammerwühlen auf; die Kurve gibt davon nur den Anfangsteil wieder. Am Vorhof starke negativ inotrope Vaguswirkung und einige Bigeminuspulse.

einer Vagusfaradisation mehr oder minder lang überdauerndes Kammerwühlen. In vorstehender Fig. 28 ist hierfür ein Kurvenbeleg gegeben, der einen besonders stark ausgeprägten Fall der Wühlen befördernden Vaguswirkung darstellt.

Wie am Froschherzen, so bedingen am Schildkrötenherzen aber auch schon alleinige faradische Reizungen der Gegend des A. V.-Trichters unter Umständen lang überdauerndes Wühlen, wenn die Herzfaradisationen mit einer stärkeren intrakardialen Vagusmitreizung verbunden sind. Fig. 29 gibt dafür ein Beispiel, wobei die Wühlkurve in diesem Fall eine ganz regelmäßige Wellenform aufweist, wie dies auch schon am Froschherzen beobachtet werden konnte. Außerdem zeigt die Figur, daß eine nachträgliche Vagusreizung das Wühlen nicht im geringsten

zu beeinflussen vermag, eine Tatsache, die sich auch oftmals in den Froschherzversuchen feststellen ließ.

Nur in einigen Ausnahmsfällen erfuhr dagegen das Gesamtkontraktionsausmaß des wühlenden Schildkrötenventrikels durch die Vagusreizung eine nicht unbedeutende Verringerung, die aber bald wieder vorüberging.

Wie an der Kammer, so macht sich der Wühlen befördernde Einfluß von Vaguserregungen in gleicher Weise auch an den Vorhöfen geltend, wenn diese bei den Herzfaradisationen durch Stromschleifen mitgereizt

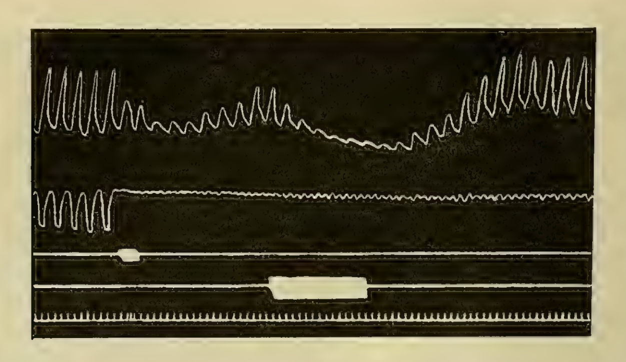


Fig. 29.

Alleinige Faradisation der A. V.-Gegend (bei 50 mm R. A. und von $2^1/_2''$ Dauer) bewirkt bei gleichzeitiger stärkerer, intrakardialer Vagusmitreizung lang überdauerndes Kammerwühlen (über $1^1/_2$ Minuten), das durch eine nachträgliche Vagusfaradisation (linke Seite; 100 mm R. A. und 15″ Dauer) nicht beeinflußt wird; nur Beginn der Kurve reproduziert.

worden sind; es besteht demnach hier auch in dieser Hinsicht vollkommene Übereinstimmung mit dem Verhalten des Froschherzens. So hatte z. B. in Fig. 30 die alleinige Herzreizung an Vorhof und Kammer fast noch keine Nachwirkung, während bei gleichzeitiger Vagusfaradisation länger überdauerndes Vorhofwühlen und unregelmäßiges automatisches Schlagen der Kammer auftrat, wie solches sich oft statt des Wühlens ausbilden oder aus demselben entwickeln kann; die oberste Kurve stellt die Sinustätigkeit dar, die infolge der Vagusreizung während der automatischen Vorgänge an Vorhof und Kammer zum Stillstand gebracht wurde.

Auch am Schildkrötenventrikel kann endlich ebenso wie an der Froschherzkammer das überdauernde Wühlen, wie es durch faradische Reizung der Gegend der A. V.-Verbindung auslösbar ist, in einen regelmäßigen, automatischen Kammerrhythmus übergehen; seine Fre-

quenz übertrifft die Häufigkeit der normalen Sinus-Vorhofschlagfolge oft beträchtlich, wie aus der in Fig. 31 wiedergegebenen Kurve hervor-

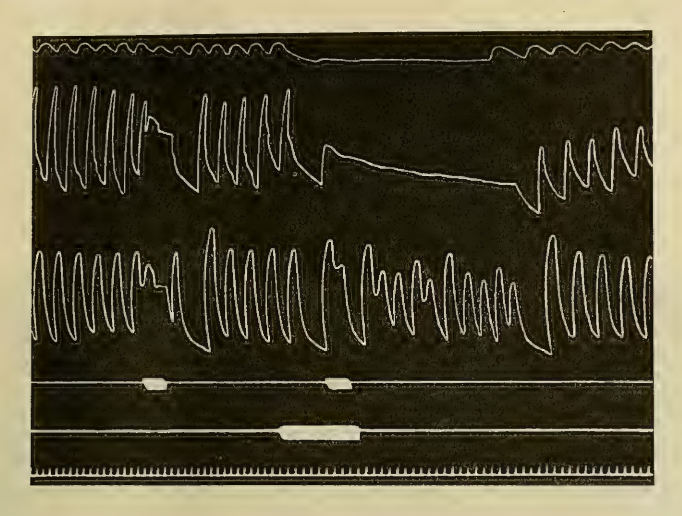


Fig. 30.
Faradische Reizung der A. V.-Gegend (bei 100 mm R. A. und von 3″ Dauer) allein bleibt so gut wie ohne Nachwirkung, bei gleichzeitiger Vagusfaradisation (rechte Seite; 150 mm R. A. und 10″ Dauer) tritt dagegen 20″ lang überdauerndes Vorhofwühlen sowie automatisches Schlagen der Kammer auf, während der Sinus still steht. Sodann wieder normale Herzschlagfolge.

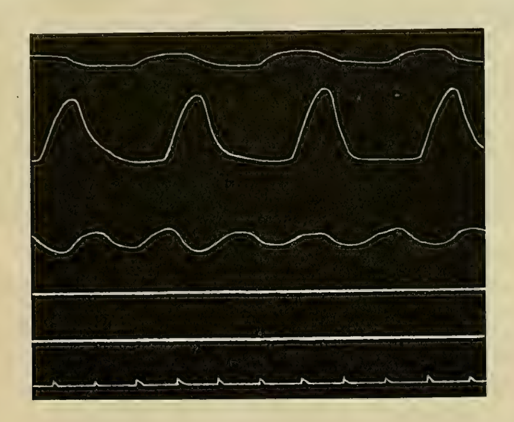


Fig. 31.
Frequenter automatischer Kammerrhythmus (unterste Kurve) nach mehrmaligen Faradisationen der A. V.-Gegend; am Sinus und Vorhof normale Schlagfolge.

geht, die mit dreifacher Registrierung bei größerer Geschwindigkeit der Schreibfläche aufgenommen wurde.

In meinen jüngsten Untersuchungen am herausgeschnittenen, spontan schlagenden Schildkrötenherzen (1917) konnte ich ferner durch entsprechende Reizversuche den Nachweis erbringen, daß die das Wühlen befördernden Vagusfasern mindestens zum Teil im sogenannten „Koronarnerv" (Gaskell) verlaufen, der an der Dorsalfläche des Herzens im Ligamentum atrioventriculare siv. dorsale, begleitet von der Koronarvene, vom Sinus zur Kammer herabzieht. Im übrigen soll die funktionelle Bedeutung dieses nervenführenden Bindegewebsstranges im nächsten Abschnitt zusammenhängend besprochen werden.

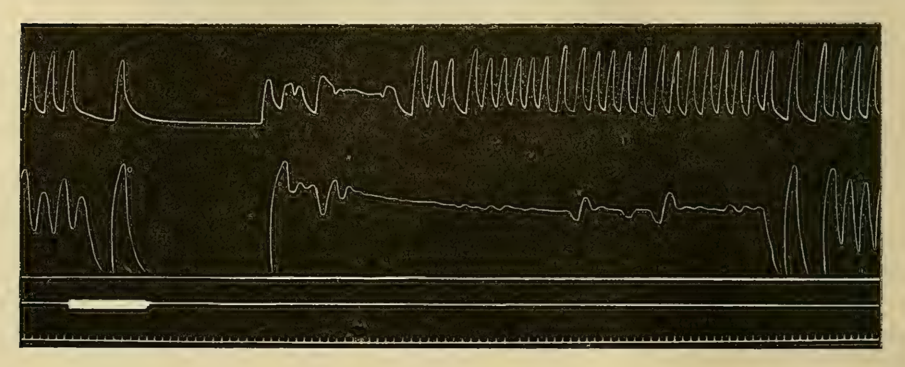


Fig. 32.

Faradisation des Koronarnerven (bei 125 mm R. A. und von 9″ Dauer) bedingt zunächst Vorhof- und Ventrikelstillstand, in dem anfangs eine einzelne gleichzeitige Vorhof-Kammerkontraktion auftritt. Sodann an beiden Herzabschnitten spontanes Wühlen, das am Vorhof 18″, am Ventrikel 61″ lang anhält; hierauf wieder normale Schlagfolge.

Ausnahmsweise konnte auch bei diesen Versuchen beobachtet werden, daß schon nach alleinigen Faradisationen des Ligamentum dorsale bezw. des Koronarnerven nachträglich spontanes Vorhof- und Kammerwühlen auftrat, wie dies auch am Froschherzen nach Vagusreizungen gefunden wurde.[1]) Die faradischen Reizungen wurden bei so großem Rollenabstande ausgeführt, daß wirksame Stromschleifen auf den Herzmuskel sicher nicht in Betracht kommen konnten. Meist erfolgte zunächst Vorhof- und Kammerstillstand, worauf dann von selbst beide Herzabschnitte in verschieden lang anhaltendes Wühlen verfielen (vgl. Fig. 32).

---

[1]) Nach neuesten, noch nicht veröffentlichten Versuchen können auch bei der Schildkröte alleinige Faradisationen des Vagusstammes nachträglich spontanes Vorhofwühlen und unregelmäßiges automatisches Schlagen der Kammer zur Folge haben.

Daß auf das einmal ausgebildete Wühlen nachträgliche Faradisationen des Koronarnerven ebenso wie solche des Vagusstammes von keinem Einfluß sind, zeigt Fig. 33, in der sich als Reizwirkung nur ein

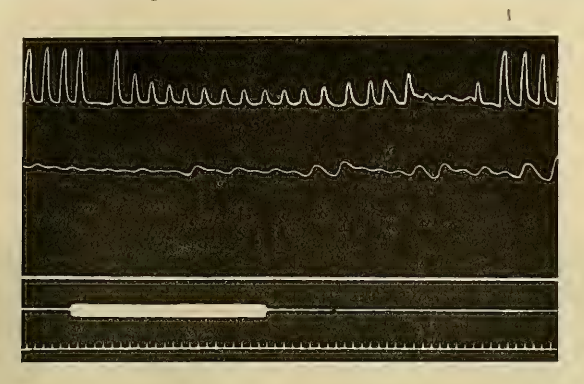


Fig. 33.
Faradische Reizung des Koronarnerven (bei 125 mm R. A. und von 22″ Dauer) bleibt ohne Einfluß auf das Kammerwühlen; am Vorhof negativ inotrope Wirkung und nachträglich kurzes spontanes Wühlen.

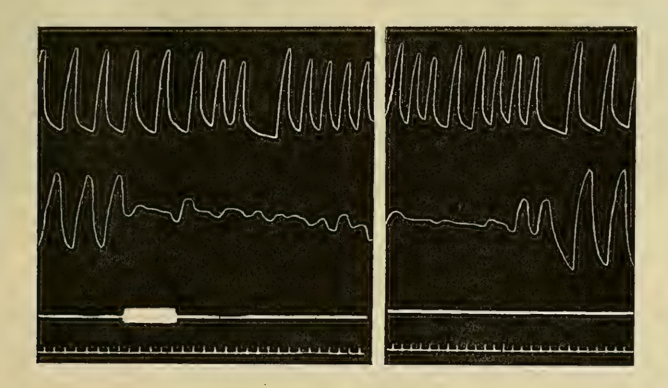


Fig. 34.
Faradisation der A. V.-Gegend (bei 100 mm R. A. und von 5″ Dauer) hat 52″ lang anhaltendes Kammerwühlen zur Folge, während dessen sich die Frequenz der Vorhofpulsation erhöht; nachher wieder normaler Herzrhythmus. Die Figur zeigt nur Beginn und Ende der Kurve.

negativ inotroper Vorhofseffekt sowie abermals kurzes spontanes Vorhofwühlen kundgibt.

Während des durch Faradisation der A. V.-Gegend ausgelösten, überdauernden Kammerwühlens bildet sich ferner am Schildkrötenherzen recht häufig eine selbständige Vorhofautomatie aus, die in einer

plötzlichen Frequenzsteigerung zum Ausdruck kommt, um nach Beendigung des Kammerwühlens ebenso plötzlich — meist nach einer kurzen „postautomatischen" Pause — wieder dem ursprünglichen normalen Rhythmus zu weichen; Fig. 34, die nur Beginn und Schlußteil der entsprechenden Kurve wiedergibt, möge hierfür als Beleg dienen.

Der etwaige Einwand, daß es sich hier nicht um eine eigene Vorhofautomatie, sondern nur um eine Beschleunigung der normalen Schlagfolge handle, erscheint dadurch ohne weiteres entkräftigt, daß an den Vorhöfen nach ihrer Abtrennung oberhalb der A. V.-Grenze sofort wieder

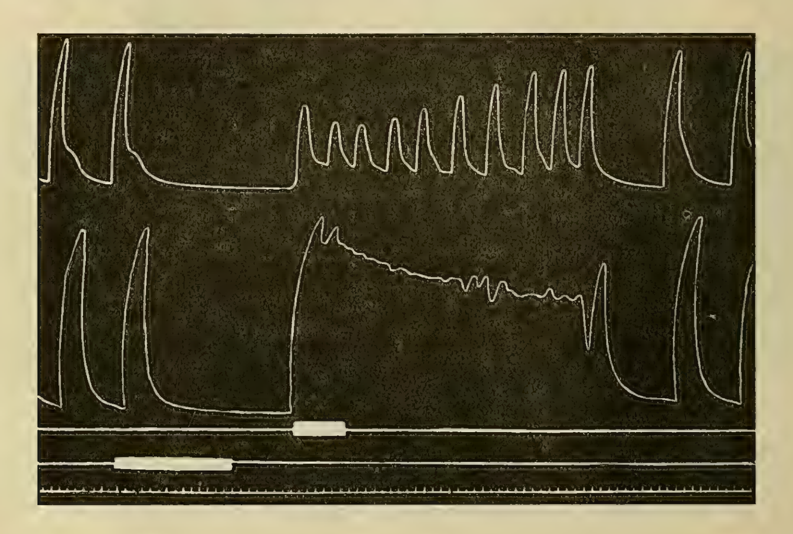


Fig. 35.

Faradische Reizung des Koronarnerven (bei 140 mm R. A. und von 15″ Dauer) führt Herzstillstand herbei; eine in diesem stattfindende Faradisation der A. V.-Gegend (50 mm R. A. und $6^1/_2$″ Dauer) bewirkt 29″ lang überdauerndes Kammerwühlen, während dessen der Vorhof automatisch schlägt. Hierauf wieder kurzer Herzstillstand, dann Beginn der ursprünglichen Schlagfolge.

der ursprüngliche langsamere Rhythmus einsetzt, wie er vom Sinus aus bedingt wird. Im übrigen trat dieselbe frequente automatische Vorhofpulsation unter Umständen auch während des überdauernden Kammerwühlens auf, das durch Faradisation der A. V.-Gegend im Herzstillstand hervorgerufen wurde, der durch vorausgegangene faradische Reizung des Koronarnerven verursacht war. In Fig. 35 ist hierfür ein Beispiel gegeben; eine gleichstarke und lange, alleinige Herzreizung hatte dagegen keine Nachwirkung zur Folge gehabt.

Ein analoges Verhalten des Vorhofes ließ sich endlich auch in jenen

Versuchen beobachten, in denen die Faradisation der A. V.-Gegend direkt auf den Vorhof mittels Stromschleifen übergriff und daselbst zunächst überdauerndes Wühlen auslöste, aus dem sich dann eine mehr oder minder frequente, automatische Schlagfolge entwickeln kann; dies gilt auch für die Fälle, bei denen der Sinus vorher abgetrennt, das Herz also vor der Reizung still gestanden war (s. Fig. 36).

In den Versuchen am Froschherzen blieb dagegen während des Kammerwühlens die vom Sinus abhängige Vorhofstätigkeit meist ungestört bestehen und trat eine analoge frequente, automatische Pulsation nur ausnahmsweise nach kombinierten Herz- und Vagusreizungen auf (s. Fig. 22). Entwickelte sich dagegen aus dem anfänglichen Kammerwühlen, das durch faradische Reizung der A. V.-Gegend ausgelöst war,

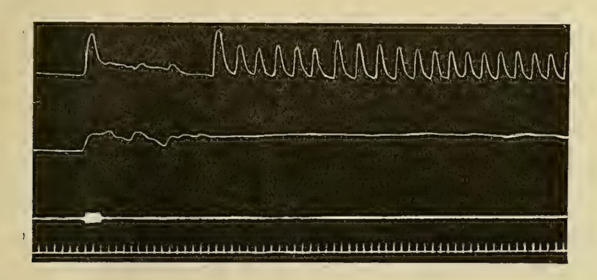


Fig. 36.

Am sinuslosen stillstehenden Herzen löst Faradisation der A. V.-Gegend (bei 50 mm R. A. und von $2^1/_2''$ Dauer) sehr lang überdauerndes Kammerwühlen aus; am Vorhof ebenfalls zunächst kurzes Wühlen, das aber bald in eine frequente, automatische Pulsation übergeht, die erst gleichzeitig mit dem Kammerwühlen abschließt. Hierauf wieder Herzstillstand; (nur Anfangsteil der Kurve reproduziert).

eine koordinierte automatische Ventrikeltätigkeit, so ging dieselbe beim Schildkrötenherzen ebenso selten wie beim Froschherzen in eine gleichzeitige (atrioventrikuläre) oder umgekehrte Schlagfolge über[1]), so daß der Vorhof meist nach wie vor im Sinustakt weiterpulsiert und eine vollkommene Dissoziation zwischen Vorhof- und Kammerpulsation zustande kommt.

Endlich habe ich auch am Schildkrötenventrikel in gleicher Weise wie an der Froschherzkammer die verschiedenen Anteile der zirkulären

[1]) Anm. während der Korrektur: Ganz neuerdings konnte ich bereits nach alleiniger faradischer Reizung des Koronarnerven das Auftreten von automatischen Kammerkontraktionen mit nachfolgenden Vorhofpulsen beobachten, infolgedessen es gewissermaßen zu einem Wettstreit zwischen der normalen und umgekehrten Schlagfolge kam.

A. V.-Verbindung einer Prüfung auf ihre Befähigung zu eigener Automatie unterzogen, um festzustellen, ob in dieser Hinsicht an ihnen funktionelle Unterschiede bestehen oder nicht. Waren in den Froschherzversuchen zu diesem Zwecke nur Halbierungen in der Frontal- oder Sagittalebene ausgeführt worden, so konnten hier dank des größeren Untersuchungsobjektes unschwer Vierteilungen vorgenommen werden: Der isolierte Schildkrötenventrikel wurde dabei von den Vorhofsostien aus in ein dorsales und ventrales, sowie in zwei seitliche Teilstücke zerschnitten. Die vergleichende Untersuchung derselben auf eigene Automatie erfolgte sodann, falls sie sich nicht bereits in spontaner Schlagfolge äußerte, mittels kurzer Faradisationen ihrer Basisanteile von genau gleicher Stärke und Dauer. War dadurch keine automatische Tätigkeit mehr hervorzurufen, so wurden auch noch mechanische Reizungen (Nadelstiche in die Basisanteile) angewendet, die dann oft noch automatische Pulsreihen auslösten; dieser auffallende Unterschied in der Wirkung verschiedener Reizarten konnte auch schon früher bei den Versuchen am Froschherzen wiederholt festgestellt werden.

Diese Versuche ergaben nun, daß die beiden seitlichen Teilstücke des Schildkrötenventrikels meist mit stärkerer Automatie begabt sind als die dorsalen und vor allem die ventralen Anteile der Kammerbasis. Während sich an der Froschherzkammer, wie schon früher mitgeteilt wurde, ein diesbezüglicher Unterschied an den einzelnen Abschnitten des A. V.-Trichters nicht feststellen ließ, besteht also innerhalb der A. V.-Verbindung des Schildkrötenherzens hinsichtlich der Fähigkeit zu automatischer Reizbildung bereits eine funktionelle Ungleichwertigkeit, wie eine solche hier im selben Sinne, aber nur noch viel deutlicher, von Laurens für die a. v. Erregungsleitung nachgewiesen werden konnte. Daß bezüglich Reizbildung und Reizleitung nicht dieselben Verhältnisse vorliegen, ging im übrigen ja schon aus den Laurensschen Versuchen hervor, da nach Durchschneidung der seitlichen Trichteranteile, wodurch bereits die a. v. Koordination vollkommen aufgehoben war, unter Umständen gleichzeitige oder umgekehrte Schlagfolge von Vorhof und Kammer auftrat; die entsprechenden automatischen Herzreize mußten daher in den nicht durchschnittenen dorsalen bzw. ventralen Partien der A. V.-Verbindung entstanden sein, da andernfalls eine vollkommene Dissoziation zwischen Vorhof- und Kammertätigkeit eingetreten wäre, wie solche in anderen Fällen ja auch oftmals beobachtet wurde. Da aber Laurens sein Augenmerk hauptsächlich auf die Verhältnisse der a. v. Erregungsleitung richtete, hob er diese Befunde weniger hervor und hatte sie auch nicht näher verfolgt.

Wurden schließlich die Zerteilungsversuche nicht, wie meist am ruhenden oder automatisch schlagenden, sondern am wühlenden Ventrikel ausgeführt, so hörte das Wühlen an den einzelnen Teilstücken entweder sofort oder sehr bald auf. Anderseits war es eine auffallende Tatsache, daß auch stärkste, an der Basis der Teilstücke vorgenommene Faradisationen in der Regel nur automatische Pulsreihen, fast nie dagegen überdauerndes Wühlen hervorriefen. Demgegenüber gelang es aber am unversehrten Ventrikel meist leicht, durch faradische Reizung der Kammerbasis, für die an und für sich eine höhere Erregbarkeit gleich wie am Froschherzen festgestellt werden konnte, mehr oder minder lang anhaltendes Nachwühlen auszulösen; dagegen war dies z. B. von der Herzspitze in zahlreichen Kontrollversuchen nur ganz ausnahmsweise bei Anwendung sehr starker Reizströme möglich, die dann durch basiswärts ausstrahlende Stromschleifen im A. V.-Trichter zur Erzeugung der automatischen Wühlreize führen. Die bei den Zerteilungsversuchen gewonnenen Befunde geben somit einen deutlichen Hinweis dafür, daß zum Auftreten des überdauernden Wühlens die automatische Reizerzeugung mindestens innerhalb eines größeren Anteiles der A. V.-Verbindung statthaben muß, sodaß jene sicher als „polytope" zu bezeichnen ist; die in kleineren Abschnitten der A. V.-Verbindung ausgelöste Automatie vermag dagegen in der Regel nur zu einer verschieden lang andauernden spontanen Schlagfolge der entsprechenden Kammerteile Veranlassung zu geben.

C. Anhang:

Über die funktionelle Bedeutung des Ligamentum dorsale (sino- oder atrioventriculare).

In dem bindegewebigen Strang, der an der dorsalen Seite des Schildkrötenherzens vom Sinus und den Vorhöfen zur Kammer zieht und deshalb als Ligamentum dorsale oder sino- bzw. atrioventriculare bezeichnet wird, verläuft, wie schon Gaskell angab, der sogenannte Koronarnerv in Begleitung der Koronarvene vom Sinus zur A. V.-Gegend herab, um daselbst in den dortigen Plexus einzutreten und seine Fasern an die Vorhöfe und Kammer abzugeben. Nach Gaskell kann dieser Nerv am Schildkrötenherzen sehr verschieden stark ausgebildet sein und unter Umständen auch ganz fehlen. Er stammt vom rechten Vagus, stellt aber nach F. B. Hofmann (1898) nur einen Ast seines intrakardialen Anteiles dar, da außerdem noch andere Nervenfasern vom Sinus zur Kammer ziehen, im Gegensatz zum Froschherzen, in dem

die Scheidewandnerven die ausschließlichen geschlossenen Nervenbahnen zwischen Sinusgebiet und Ventrikel bilden.

Schon Gaskell hatte festgestellt, daß durch die Durchschneidung des Ligamentum dorsale einschließlich des Koronarnerven am Schildkrötenherzen die normale a. v. Koordination der Schlagfolge nicht gestört wird und daß anderseits das Ligament allein bei vollkommen durchtrennter Vorhofswand die Erregungsleitung nicht zu vermitteln vermag. Trotzdem hatte Dogiel (1906 und 1907), der ja, wie schon im anatomischen Teil erwähnt, eine muskuläre Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammer leugnete, in diesem den Koronarnerv führenden Bindegewebsstrang den einzigen Zusammenhang zwischen den genannten Herzabschnitten erblicken und ihm damit auch die Funktion der a. v. Erregungsleitung zuschreiben wollen. Für das Eidechsenherz hat dann ebenfalls im Gegensatz zu den schon von Gaskell erhobenen Befunden Imchanitzky (1909) auf Grund experimenteller Untersuchungen angegeben, daß hier der analoge Strang die ausschließliche anatomische und funktionelle Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammer darstelle.

Dagegen hat Laurens (1913) sowohl für das Schildkröten- als auch für das Eidechsenherz mit Hilfe der Doppelsuspension die Angaben von Gaskell einwandfrei bestätigen können, daß dieses Ligament mitsamt dem Koronarnerv für die Überleitung der Herzreize vom Sinusgebiet und den Vorhöfen zur Kammer sicher von keiner Bedeutung ist. Dies ging einerseits aus Versuchen hervor, bei denen das Ligamentum dorsale allein durchschnitten wurde, ohne daß an der normalen Herzschlagfolge eine nennenswerte Änderung oder Störung aufgetreten wäre, anderseits aus der Tatsache, daß bei vollkommener Durchtrennung der Vorhofswände das allein übrig gelassene Dorsalligament die a. v. Koordination nicht aufrecht zu erhalten vermag. Nach der Durchschneidung des letzteren trat zwar meist eine Verlängerung der Überleitungszeit auf, was jedoch nur durch den experimentellen Eingriff an und für sich bedingt erscheint und keine spezifische Erscheinung darstellt. Auch zeigte sich dabei in allen Eidechsen- und manchen Schildkrötenversuchen eine negativ inotrope Vorhofswirkung, was als eine durch den Schnitt bedingte Reizwirkung der im Ligament verlaufenden Vagusfasern angesehen werden muß.

Endlich habe auch ich gelegentlich meiner jüngsten Versuche am Schildkrötenherzen (1917) die Gaskellschen Versuche über die Bedeutung des Ligamentum dorsale bzw. des Koronarnerven für die a. v. Erregungsleitung mittels des Doppelsuspensionsverfahrens wiederholt und gelangte dabei zu vollkommen denselben Ergebnissen, wie sie Laurens in Übereinstimmung mit den Gaskellschen Befunden gewonnen hatte.

Am Salamanderherzen hat ferner Nakano (1913) ein analoges Bündel aufgefunden und auch für dieses seine Belanglosigkeit für die a. v. Überleitung der Herzreize nachweisen können.

Schließlich hat Roskam (1913) für das Aalherz einen an der hinteren Wand des Canalis auricularis herabziehenden „interauriculo-ventrikulären" Nerven beschrieben, der wohl dem Koronarnerven im Ligamentum dorsale entsprechen dürfte und dessen Durchschneidung die normale Herzschlagfolge ebenfalls nicht beeinflußte.

Im Hinblick auf die durch die genannten Untersuchungen sichergestellte Tatsache, daß das Ligamentum dorsale samt dem Koronarnerven für die a. v. Reizleitung nicht in Betracht kommen kann, erscheint die auf Grund eingehender vergleichend anatomischer Untersuchungen gemachte Angabe Mackenzies (1913) von großem Interesse, daß trotzdem dieses Gebilde bei gewissen Reptilien spezifische Muskulatur aufweise. Es wäre damit hier der Ausnahmsfall gegeben, daß sich spezifisches Muskelgewebe ohne die ihm eigene Überleitungsfunktion vorfindet. Wenn sich dieser auffallende Befund von Mackenzie bestätigen und womöglich für alle Reptilienherzen erweitern läßt, so müßte man ihn wohl, wie Mangold (1914) gemeint hat, dahin deuten, daß es sich dabei um ein in Rückbildung befindliches Gewebe handeln dürfte, dem die Fähigkeit zur Erregungsleitung im Verlaufe der sich ausbildenden Differenzierung des spezifischen Reizleitungssystemes verloren gegangen ist.

IV. Zusammenfassung.

Im folgenden sollen die wichtigsten Tatsachen, die hinsichtlich der physiologischen Bedeutung der A. V.-Verbindung des Kaltblüterherzens gefunden worden sind, in einer kurzen Übersicht zusammengestellt werden:

Die a. v. Erregungsleitung erfolgt im Froschherzen nicht, wie die frühere Ganglientheorie annahm, vermittels der Bidderschen Ganglien, sondern durch den A. V.-Trichter (Gaskell, Engelmann); bei Verletzungen desselben treten die verschiedenen Überleitungsstörungen — die Erscheinungen des unvollkommenen oder vollkommenen „Blockes" — auf (Gaskell).

Sicher bedeutungslos für die a. v. Reizleitung ist ferner die Vorhofsscheidewand sowie die geschlossenen Nervenbahnen, die von den Vorhöfen zur Kammer führen; die a. v. Leitungsbahnen müssen vielmehr diffus in den Vorhofswänden verbreitet sein, da allein ihre Durchschneidung die a. v. Koordination aufhebt (Gaskell für das Schild-

krötenherz — Ligamentum dorsale mit dem Coronarnerven; F. B. Hofmann für das Froschherz — Scheidewandnerven).

Dasselbe gilt auch für das Aalherz, bei dem jeder Streifen der Vorhofswand befähigt ist, die Herzreize zur Kammer überzuleiten (Mc William, Nakano, Roskam).

Auch die automatische Reizbildung, die nach dem ersten Stanniusschen Schnitt am Froschherzen spontan oder auf einmalige Reizung der mittleren Kammerbasis zum Auftreten von Pulsreihen Veranlassung gibt — sogenanntes „Munksches Phänomen" — erfolgt nicht in den Bidderschen Ganglien, sondern ausschließlich im A. V.-Trichter (Gaskell, W. Ewald).

Bei den spontan auftretenden automatischen Kontraktionen des sinuslosen Froschherzens liegt dabei der Reizbildungsort im A. V.-Trichter meist etwas mehr kammerwärts, nur ausnahmsweise dagegen vorhofwärts (Engelmann).

Am Schildkrötenherzen kann im Vagusstillstand die automatische Tätigkeit in der A. V.-Verbindung unter Umständen von selbst beginnen und gleichzeitiges Schlagen von Vorhöfen und Kammer verursachen (Lohmann).

Dasselbe kann hier auch nach elektrischer Reizung des Ventrikels oder bei Erwärmung des ganzen Tieres erfolgen (Gewin).

Das Elektrogramm der nach der ersten Stanniusschen Ligatur spontan auftretenden automatischen Kammerkontraktionen unterscheidet sich in keiner Hinsicht wesentlich von jenem der normalen Ventrikelpulse; es erscheint nur die Hauptzacke R etwas vergrößert und die Periodendauer der Kurve etwas verlängert (Samojloff).

Die nach Vagusreizung am normal schlagenden Herzen unter Umständen eintretenden automatischen Ventrikelsystolen mit nachfolgenden Vorhofpulsen zeigen sich im Elektrogramm ebenso verändert wie die normalen oder durch künstliche Reizung hervorgerufenen Kammerkontraktionen; die positive Endzacke T wird kleiner und das Zeitintervall zwischen der Hauptzacke R und der Endzacke T wird kürzer (Samojloff).

Im Elektrogramm der nach der ersten Stanniusschen Ligatur spontan erfolgenden Kontraktionen des Froschherzens geht gewöhnlich die Anfangsschwankung der Vorhofszacke voraus, was einer mehr kammerwärts gelegenen Reizbildungsstelle im A. V.-Trichter entspricht. Durch mechanische Dehnung in der A. V.-Grenze kann aber auch das umgekehrte Verhalten hervorgerufen werden, so daß sich dadurch eine automatische Reizbildung im Vorhofsteil des A. V.-Trichters kund gibt und damit eine Vorhofautomatie zustande kommt (Seemann).

Nach der ersten Stanniusschen Ligatur können schon während des Herzstillstandes als Zeichen bestehender schwacher Erregungsvorgänge im A. V.-Trichter kleine Ventrikelelektrogramme erscheinen, bevor noch sichtbare Kontraktionen erfolgen (Seemann).

Im Reptilienherzen — bei Schildkröte und Eidechse — besteht bereits eine funktionelle Differenzierung bezüglich der a. v. Erregungsleitung, insofern in dieser Hinsicht nur die seitlichen Anteile der ringförmigen A. V.-Verbindung von Bedeutung sind (Laurens).

Nach genügender Durchtrennung der A. V.-Verbindung kann entweder selbständige Ventrikelautomatie bei vollkommener Dissoziation der Schlagfolge oder auch Umkehr derselben erfolgen, wobei der Reizbildungsort bisweilen fast genau in der Mitte des A. V.-Trichters gelegen sein muß, da Vorhöfe und Kammer in manchen Fällen beinahe gleichzeitig schlagen (Laurens).

Im Amphibienherzen — beim Frosch und Salamander — gibt sich auch schon der Beginn einer funktionellen Ungleichwertigkeit der verschiedenen Anteile des A. V.-Trichters bezüglich der a. v. Reizleitung kund, für welche die ventralen Abschnitte von geringerer Bedeutung sind als die lateralen und dorsalen (Nakano).

An der a. v. Erregungsleitung ist das nervenführende Ligamentum dorsale siv. atrioventriculare sowohl beim Schildkröten- als auch beim Eidechsenherzen vollkommen unbeteiligt (Gaskell, Laurens).

Das gleiche gilt für das analoge Gebilde am Salamanderherzen (Nakano) und am Aalherzen (Roskam).

Die wesentlichsten Ergebnisse, zu denen meine am Froschherzen ausgeführten Untersuchungen geführt haben, lassen sich, wie folgt, zusammenfassen:

Am sinuslosen stillstehenden Herzen können durch elektrische Momentanreizung des A. V.-Trichters mittels Induktionsschläge längere automatische Pulsreihen ausgelöst werden.

Als Ort der automatischen Reizbildung läßt sich hierfür in der Regel der mehr kammerwärts gelegene Teil des A. V.-Trichters bestimmen, nur ausnahmsweise liegt er im Vorhofsabschnitt desselben (Fälle von Vorhofautomatie).

Schon ganz kurze faradische Reizungen haben bezüglich der Auslösung der Trichterautomatie bereits weit stärkere Wirkung (Summationserscheinung).

Länger währende Faradisationen der Gegend des A. V.-Trichters

führen zu „Wühlen und Wogen" der Herzkammer, das den Reiz verschieden lang überdauert; dasselbe kann unter Umständen unmittelbar in eine Reihe automatischer Einzelkontraktionen übergehen oder sich auch in einen automatischen, hochfrequenten Kammerrhythmus von großer Regelmäßigkeit fortsetzen bzw. durch letzteren vollkommen ersetzt werden.

Diese Tatsachen führen zu der Schlußfolgerung, daß das überdauernde Wühlen durch starke im A. V.-Trichter statthabende automatische Reizbildung entsteht, wofür auch die am spontan schlagenden Herzen gewonnenen Befunde sprechen (s. u.!).

Die Gegend des A. V.-Trichters weist eine höhere Erregbarkeit auf als die benachbarten Partien der Kammerbasis; desgleichen ist in der Trichtergegend die Summationsfähigkeit unterschwelliger Reize innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches höher entwickelt als in der übrigen Herzmuskulatur.

Wie durch mechanische und elektrische Reizung der A. V.-Trichtergegend, so kann auch durch örtliche Erwärmung derselben die automatische Reizbildung daselbst hervorgerufen werden, die zum Auftreten von spontanen Kontraktionsreihen führt; bei schon bestehender automatischer Schlagfolge läßt sich durch solche lokalisierte Wärmereizung die Frequenz bedeutend steigern.

Am vom Sinus aus spontan schlagenden Herzen gelingt es nur ausnahmsweise, durch mechanische (Stichverletzung) oder elektrische Reizung der Gegend des A. V.-Trichters (mit Einzelinduktionsschlägen oder kurzen Faradisationen) die Automatie daselbst so weit zu erwecken, daß der normale Sinusrhythmus durch die umgekehrte oder a. v. Schlagfolge vorübergehend verdrängt wird.

Öfters wird dagegen durch die genannten Einwirkungen die Trichterautomatie für kurze Zeit wachgerufen, so daß es zum Auftreten mehrfacher automatischer Kammerextrasystolen kommt.

Schon durch starke Einzelinduktionsschläge, besonders aber durch faradische Reizungen der A. V.-Trichtergegend läßt sich jedoch unschwer an der Kammer verschieden lang anhaltendes „Wühlen und Wogen" auslösen, während die Abhängigkeit der Vorhofschlagfolge von der Sinustätigkeit unverändert fortbesteht.

Das Kammerwühlen kann in Form mehrfacher automatischer Extrasystolen abklingen, die sich zwischen die wieder normal erfolgenden Ventrikelpulse einschieben; oder das Wühlen schließt bisweilen mit gleichzeitigen Vorhof- und Kammerkontraktionen ab, worauf dann wieder die normale Schlagfolge einsetzt.

Viel öfters geht dagegen das Kammerwühlen in einen hochfrequenten, automatischen Kammerrhythmus über, der vollkommen unabhängig von der normalen Sinus-Vorhofschlagfolge eventuell lange Zeit bestehen bleibt.

Auch am spontan schlagenden Herzen kann durch lokale Erwärmung der Gegend des A. V.-Trichters die automatische Reizbildung daselbst unter Umständen ausgelöst werden, so daß sich entweder eine a. v. Schlagfolge bzw. einzelne automatische Ventrikelpulse oder auch bisweilen Kammerwühlen ausbildet.

Vagusreizungen vermögen das Auftreten von überdauerndem Kammerwühlen, wie es durch elektrische Reizung der A. V.-Trichtergegend hervorgerufen werden kann, oft in starkem Maße zu begünstigen; dasselbe gilt für den hochfrequenten, automatischen Kammerrhythmus, der sich statt des Wühlens ausbilden kann.

Der hier erwähnte Einfluß von Vaguserregungen erstreckt sich in gleicher Weise auch auf das überdauernde Vorhofwühlen; die während desselben eventuell auftretenden Ventrikelkontraktionen sind automatischen Ursprunges und besteht zwischen ihnen und den unverändert weiter erfolgenden Sinuspulsen vollkommene Dissoziation.

Nach wiederholten Faradisationen des Vagusstammes allein kann nachträglich auch ganz spontan Kammerwühlen auftreten.

Der automatieerhöhende Einfluß von Vagusreizungen kommt wenigstens zum Teil durch die fördernden Fasern zustande, da er auch nach Atropinisierung bestehen bleibt.

Dieselbe Vaguswirkung läßt sich wie am spontan schlagenden Herzen so auch in ganz gleichem Sinne an der stillstehenden Kammer des „Scheidewandnervenpräparates" (nach F. B. Hofmann) nachweisen; die betreffenden Fasern verlaufen also mindestens der Hauptsache nach in den Bahnen der Scheidewandnerven.

Der gleiche befördernde Einfluß von Vagusreizungen gibt sich am „Scheidewandnervenpräparat" auch bezüglich der durch elektrische Reizung der A. V.-Trichtergegend auslösbaren automatischen Pulsreihen kund.

Tritt am „Scheidewandnervenpräparat" eine automatische Kammerschlagfolge auf, so läßt sich dieselbe durch Vagusreizung nicht nur in inotropem, sondern auch in chronotropem Sinne (positiv und negativ) beeinflussen.

Die Befähigung zu automatischer Reizbildung, wie sie im A. V.-Trichter entweder spontan oder auf künstliche Reizung hin auftritt, reicht bis zur Grenze zwischen oberem und mittlerem Kammerdrittel herab.

Die verschiedenen Anteile des A. V.-Trichters weisen keine nennenswerten Unterschiede bezüglich des Vermögens, automatische Herzreize zu bilden, auf, so daß sie in dieser Hinsicht als funktionell gleichwertig zu bezeichnen sind.

Meine Versuche am Schildkrötenherzen ergaben schließlich in der Hauptsache folgendes:

Das Auftreten von überdauerndem Wühlen, wie es durch faradische Reizungen der an und für sich erregbareren Kammerbasis bzw. A. V.-Trichtergegend auslösbar ist, kann auch hier oft in hohem Grade durch Faradisationen des Vagusstammes befördert werden.

Sind diese Herzreizungen von einer beträchtlichen intrakardialen Vagusmiterregung begleitet, so können sie auch allein schon lang anhaltendes Nachwühlen hervorrufen.

Nachträgliche Vagusfaradisationen haben wie am Froschherzen so auch hier in der Regel keinen Einfluß auf das ausgebildete Kammerwühlen.

Der Wühlen befördernde Einfluß von faradischen Vagusreizungen besteht sowohl für die Kammer als auch für die Vorhöfe; während des Vorhofswühlens schlägt die Kammer oft unregelmäßig automatisch.

Die faradische Reizung der A. V.-Verbindung hat unter Umständen auch statt des Wühlens einen meist frequenten, automatischen Kammerrhythmus zur Folge, der sich aus dem ursprünglichen Wühlen erst entwickeln kann.

Die das Wühlen befördernden Vagusfasern verlaufen mindestens zum Teil im Koronarnerv kammerwärts; ausnahmsweise kann sich auch schon nach alleinigen faradischen Reizungen desselben nach anfänglichem Herzstillstand spontanes Wühlen an Kammer und Vorhof ausbilden.

Während des überdauernden Kammerwühlens tritt oft eine selbständige Vorhofautomatie in Form einer frequenten Pulsation auf, die bei Beendigung des Kammerwühlens meist nach einer kurzen „postautomatischen" Pause sofort wieder dem langsameren Sinusrhythmus weicht; dieselbe Vorhofautomatie zeigt sich unter Umständen auch nach Faradisationen der A. V.-Gegend, die im Vagusstillstand oder nach vorheriger Sinusabtrennung ausgeführt werden.

Nur selten tritt dagegen nach faradischen Reizungen der A. V.-Gegend — ohne oder mit kombinierter Vaguserregung — eine umgekehrte oder gleichzeitige (atrioventrikuläre) Schlagfolge von Vorhof und Kammer auf, so daß meist bei automatischer Ventrikeltätigkeit der Vorhof unverändert im Sinusrhythmus weiterschlägt und dadurch eine vollkommene Dissoziation zwischen Vorhof- und Kammertätigkeit entsteht.

Hinsichtlich der Fähigkeit zu automatischer Reizerzeugung besitzen die seitlichen Anteile der A. V.-Verbindung meist eine größere Bedeutung als die dorsalen und ventralen Abschnitte derselben.

V. Schluß: Über die neurogene und myogene Theorie der Herztätigkeit.

In der vorliegenden Darstellung ist die Bezeichnung „Atrioventrikulartrichter" im allgemeinen Sinne eines a. v. Verbindungssystemes angewendet worden. Für das Froschherz hat ja bereits F. B. Hofmann (1898) gefunden, daß die Trichtermuskulatur überall gleich dicht von Nervenfasern umsponnen wird, wie dies an den Vorhöfen und der Kammer selbst schon durch die Untersuchungen von Gerlach (1876), Ranvier (1880) und später besonders von Heymans und Demoor (1895) bekannt geworden ist. Da F. B. Hofmann (1902) in seinen Präparaten auch bei vollkommener Imprägnation keine freien Endigungen nachweisen konnte, hat wohl nach seiner Anschauung die Annahme eines in sich geschlossenen Nervennetzes mindestens im Bereiche der Teiläste einer Nervenfaser ihre Berechtigung. Bezüglich des Reptilienherzens (Eidechse und Schildkröte) haben ferner vor allem Keith und Mackenzie (1910) darauf hingewiesen, daß die a. v. Verbindungsmuskulatur mit nervösem Gewebe in innigstem Zusammenhang steht, wie auch später Laurens (1913) die reiche Versorgung des A. V.-Trichters des Eidechsenherzens mit Nervenfasern bestätigen konnte.

Es handelt sich also bei dem a. v. Verbindungssystem des Kaltblüterherzens — ebenso wie bei dem des Warmblüterherzens — um einen neuromuskulären Gewebekomplex. Eine direkte Entscheidung, ob hier — ebenso wie im Sinusgebiet als dem Ursprungsort der normalen Herzreize — für die Reizbildung und Reizleitung die muskulären oder die nervösen Elemente von maßgebender Bedeutung sind, wird wohl deshalb kaum je mit voller Sicherheit erbracht werden können, weil eine räumliche Trennung dieser beiden auf das Engste miteinander verbundenen Gewebsarten auf operativem Wege überhaupt ganz unmöglich ist[1]); eine funktionelle Scheidung aber durch chemische Einwirkung, wie z. B. eine solche für den Skelettmuskel durch das Curare gegeben erscheint, hat sich bis jetzt wenigstens hier nicht einwandfrei ausführen lassen. Die physiologische Forschung befindet sich demnach auf

[1]) Über eine eventuell bestehende Möglichkeit siehe am Schlusse dieses Abschnittes (S. 77 u. ff.)!

diesem Gebiete in einer äußerst schwierigen Lage — mit Ausnahme eines einzigen Falles, des Limulusherzens, in dem die Organisation dem Experimentator in so glücklicher Weise zu Hilfe gekommen ist. Carlson (1904 und 1905) hat ja zeigen können, daß an diesem Herzen einerseits eine leicht auszuführende Entfernung des dorsalen medianen Nervenstranges, der sämtliche Ganglienzellen des Herzens enthält, unbedingt zu dauerndem Stillstand desselben führt; anderseits bewirkt die Durchschneidung der beiden ausschließlich aus Nervenfasern bestehenden lateralen Stränge den vollkommenen Verlust der Koordination an den einzelnen Herzsegmenten. In diesem Fall konnte also die ganglionäre Natur des normalen Herzschlages sowie die neurogene Reizleitung sicher bewiesen werden. Es ist aber auf jeden Fall von der Hand zu weisen — und dies hat schon Carlson selbst betont — diesen an einem niederen Wirbellosen erhobenen Befund ohne weiteres auf die Verhältnisse des Wirbeltierherzens übertragen zu wollen. Muß dies schon an und für sich als nicht statthaft bezeichnet werden, so erscheint es um so deutlicher als nicht berechtigt, nachdem P. Hoffmann (1911) auf Grund seiner elektrokardiographischen Untersuchungen nachgewiesen hat, daß der Herzschlag bei Limulus nicht wie bei den Wirbeltieren eine Einzelzuckung, sondern einen typischen Tetanus darstellt.[1])

Daß die frühere Ganglientheorie der Herztätigkeit, von Volkmann (1844) begründet, von Eckhardt, H. Munk, R. Marchand u. A. weiter ausgebaut, auf Grund der neueren physiologischen Forschungsergebnisse endgültig als abgetan betrachtet werden muß, wie dies besonders F. B. Hofmann wiederholt (1898, 1909 und 1917) dargelegt hat, braucht hier nicht mehr näher ausgeführt zu werden. Dagegen steht wohl

---

[1]) Es sei hier auch auf den analogen Aktionsstrombefund hingewiesen, den E. Th. v. Brücke und Satake (1913) am Kaninchenösophagus erhoben haben; dieselben konnten zeigen, daß die reflektorisch ausgelösten Schluckwellen, deren neurogene Entstehung ja ebenfalls unzweifelhaft ist, auch auf rhythmischen, tetanischen Muskelkontraktionen beruhen. Im Gegensatze hierzu hatten früher schon Orbeli und E. Th. v. Brücke (1910) nachgewiesen, daß die Aktionsströme der spontanen Ureterwellen, für die bereits Engelmann (1869) einen myogenen Ursprung annahm, Einzelerregungen entsprechen, genau so wie dies für das Vertebratenherz der Fall ist. Es konnte nun aber, wie E. Th.v. Brücke und Satake hervorgehoben haben, bisher noch nie beobachtet werden, daß die natürliche Erregung von Ganglienzellen zum Auftreten einzelner Erregungswellen im betreffenden peripheren Organ führe; vielmehr gibt sich jene durchwegs in rhythmisch sich wiederholender Form kund. Deshalb halten es die genannten Autoren für möglich, daß vielleicht dieses verschiedene Verhalten zur Unterscheidung zwischen neurogen und myogen bedingtem Rhythmus wesentlich wird beitragen können.

nicht ohne Berechtigung der Lehre von der myogenen Natur der Herzreizbildung und -leitung die modifizierte neurogene Anschauung gegenüber, daß diese Funktionen vielleicht dem intramuskulären Nervennetz zukomme, wofür bereits Ranvier (1880), sowie Heymans und Demoor (1895) bezüglich der Erregungsleitung, Kronecker (1896) und später Bethe (1903) auch hinsichtlich der Reizerzeugung eingetreten sind. Ja letzterer Forscher, wie früher schon Cyon (1902), ist sogar geneigt, Grundeigenschaften des Herzens — als welche vor allem die Refraktärphase und die Eigentümlichkeit der kompensatorischen Pause nach Extrasystolen zu nennen sind — nicht wie bisher den Muskelzellen [s. besonders Engelmanns Untersuchungen (1895)], sondern dem Nervennetz zuzuschreiben. Wie demgegenüber aber F. B. Hofmann (1909) bemerkt hat, wäre man dann wohl zu der höchst unwahrscheinlichen Annahme genötigt, daß eine direkte Reizbarkeit des Herzmuskels überhaupt nicht bestehe, weil doch andernfalls bei Reizung während der refraktären Phase des Nervennetzes ein Erfolg der direkten Muskelreizung auftreten würde; oder man müßte zum mindesten auf die alte Vorstellung von Schiff (1850) zurückgreifen, daß die direkte Muskelreizung nur eine ganz lokale ,,idiomuskuläre" Kontraktion bedinge. Weiter wies auch schon H. E. Hering (1901) darauf hin, daß doch die Refraktärphase beim Nerven sehr kurz, beim Herzen dagegen unvergleichlich viel länger ist; man würde daher in sehr gezwungener Weise anzunehmen haben, daß sich das Herznervennetz ebensolange refraktär verhält. Ferner konnte später v. Tschermak (1909) am Fischherzen nachweisen, daß sich die oben genannten fundamentalen Merkmale bereits in den frühesten Embryonalstadien vorfinden, so daß sie also wohl stets mit Recht als Eigenschaften der Herzmuskulatur und nicht des sich ja erst später ausbildenden Nervennetzes angesehen worden sind und als solche auch weiterhin zu gelten haben. Immerhin erscheint aber die Möglichkeit, daß im ausgebildeten Herzen das intramuskuläre Nervennetz die Herzreize bilde und fortleite, auch heute noch nicht ausgeschlossen und soll deshalb das Für und Wider hier eingehender erörtert werden.

Schon Engelmann (1897) hatte diese Frage einer kritischen Besprechung unterzogen und dabei selbst verschiedene, bereits bekannte Tatsachen hervorgehoben, die für eine etwaige automatische Tätigkeit gewisser peripherer Nervenfasern sprechen. Von diesen sei hier als Beispiel nur das ,,Tetanisch"-Werden von motorischen Froschnerven (Ischiadicus) infolge längerer Abkühlung des Tieres erwähnt. Wie v. Frey (1883) gefunden hatte, ist dafür bisweilen schon der Aufenthalt in einer Umgebung von 13° hinreichend. Dabei bildet sich in den Nerven-

fasern ein Erregungszustand aus, der sich bereits bei den geringsten äußeren Einwirkungen (z. B. ganz schwache Galvanisation, geringfügige Erwärmung), unter Umständen aber auch ohne solche von selbst in heftigen, tetanischen Zuckungen kundgibt. In etwas höherer Temperatur schwindet diese auffallende Erscheinung wieder und stellt sich am Nerven das normale Verhalten her, um bei neuerlicher Abkühlung alsbald wieder aufzutreten. Dieser Zustandswechsel des Nerven erscheint also durch eine nur sehr geringfügige Abänderung der physiologischen Verhältnisse bedingt. Werden ferner bei „Kaltfröschen" motorische Nerven durchschnitten, so verfallen die entsprechenden Muskeln in oft lange andauernden tetanischen Zustand, was aber auch bei ganz normalen Tieren der Fall sein kann, bei denen irgendwelche sonstige, äußere Einwirkungen vollkommen fehlen. Hierher gehört auch u. a. die Beobachtung von Goltz (1872), daß Vagusdurchschneidung beim Frosch zu lang währenden Bewegungen des Ösophagus führen kann. Daß es sich bei diesen und ähnlichen Erscheinungen mindestens um eine Mitwirkung des Verletzungsstromes handeln dürfte, war von Anfang an wahrscheinlich. Nachdem später Hering (1882) in Versuchen am Hüftnerven von „Kaltfröschen" und Knoll (1882) am Kaninchenvagus die Möglichkeit einer Dauererregung des Nerven durch seinen eigenen Demarkationsstrom bewiesen hatten, erschien es Engelmann naheliegend, daß die erregbarkeitssteigernde Wirkung des Nervenstromes auf die nach seiner „Unterstellung automatisch bereits schwach tätige Nervensubstanz" die Hauptursache für die Dauerreizwirkung der Durchschneidung darstellt, wie dies in analoger Weise bei Zuführung des konstanten Stromes der Fall ist. Anderseits hielt es Engelmann auch für möglich, daß der an der Durchschneidungsstelle einsetzende Degenerationsprozeß direkt als „Zersetzungsreiz" auf die bereits unter dem erregbarkeitserhöhenden Einfluß des Demarkationsstromes stehenden Nervenfasern wirke und so ihre Dauererregung bedinge. Da aber letztere besonders auch an zentripetalen Nerven auftritt, kann dieses Moment kaum von wesentlicher Bedeutung sein, nachdem sich hier die Zerfallsvorgänge im zentralen Stumpf ja nur sehr gering ausbilden. Engelmann meinte vielmehr, daß die betreffenden Nerven „schon normalerweise automatisch tätig sind, nur in so schwachem Grade, daß die Endorgane nicht oder nur wenig dadurch in Tätigkeit geraten." Endlich kam Engelmann zum Schluß, es „dürfte die Vermutung nicht mehr so ganz unerhört sein, daß es im entwickelten Herzen der Wirbeltiere intrakardiale Nervenfasern seien, welche in der Norm die spontanen motorischen Herzreize erzeugen und damit als die automatischen Centra der Herzbewegung funktionieren." Nach seiner Anschauung wäre von

diesem Gesichtspunkte aus die Tatsache, daß sich Ganglienzellen besonders an den mit Automatie stark begabten Stellen der Herzwand gehäuft vorfinden, „dann insofern erklärlich, als in der Nähe der Ganglienzellen immer auch, wie es scheint, die meisten Nervenfasern gefunden werden," deren automatische Erregbarkeit durch den trophischen Einfluß der Ganglienzellen günstig beeinflußt würde. So „würden alle, die Entstehung der spontanen Herzreize im erwachsenen Wirbeltier betreffenden bekannten Tatsachen mit der Annahme eines in dem hier entwickelten Sinne neurogenen Ursprunges der Herzbewegungen wohl zu vereinigen sein."

Trotzdem gab Engelmann der Lehre vom rein myogenen Ursprung der Herzbewegungen den Vorzug. Vor allem begründete er dies damit, daß die erstere Anschauung nicht imstande ist, die Bewegung junger embryonaler und überhaupt solcher Herzen zu erklären, „die wohl Muskelzellen, aber sicher keine Nervenfasern enthalten." Dabei stützte er sich darauf, daß es keinen direkten Anhalt dafür gibt, „daß der Ursprung der Herzreize im erwachsenen Tier ein prinzipiell anderer sei, als im embryonalen." Ferner wies er darauf hin, daß sich die myogene Auffassung besser auf Analogien berufen kann: „denn während das Vorkommen manifester gewöhnlicher typischer Automatie in normalen peripherischen Nervenfasern nicht ganz sicher feststeht oder doch nur eine Ausnahme zu bilden scheint, ist dasselbe bei kontraktilen Zellen im ganzen Tierreich sehr häufig und vollkommen erwiesen." Endlich erhob Engelmann gegen die Annahme, der Ort der automatischen Herzreizbildung liege in den intrakardialen Nervenfasern, den Einwand, daß „wegen des doppelsinnigen Leitungsvermögens der Nerven eine fortwährende Ausbreitung der in den Nervenfasern erzeugten Reizwellen auch in zentripetaler Richtung, nach den Ursprungszellen der Fasern hin anzunehmen sein würde", was sowohl nutzlos als auch jeder Analogie entbehrend erschiene.

Die beiden erstgenannten Einwände von Engelmann können nun aber wohl nicht als stichhaltig angesehen werden. Das embryonale Warmblüterherz schlägt nach den Untersuchungen von W. His jun. (1893) allerdings schon zu einer Zeit (beim Hühnchen schon in den ersten Tagen nach Beginn der Bebrütung), bevor noch Ganglienzellen und Nervenfasern eingewandert sind. Aber es finden sich da auch noch keine typischen Muskelzellen vor, sondern nur bläschenförmige, endothelartige, kontraktile Zellen, die sich nach His erst vom 5. Tage an in quergestreifte Muskelzellen umwandeln. Das frühe Schlagen des embryonalen Herzens kann also weder einen Beweis für die myogene, noch einen

Einwand gegen die neurogene Lehre im oben ausgeführten Sinn abgeben. Ganz abgesehen davon darf man aber wohl auch nicht vom Verhalten des Organes in einem so frühen Embryonalstadium auf seine Funktionsweise im ausgewachsenen Zustand entscheidende Schlüsse ziehen, ebensowenig wie es angängig ist, von Verhältnissen an niederen Wirbellosen auf diejenigen der hochdifferenzierten Wirbeltiere zu schließen.

Desgleichen dürfte auch der zweite Engelmannsche Einwand heutzutage nicht mehr ausschlaggebend in Betracht kommen: „Herzen, die wohl Muskelzellen, aber sicher keine Nervenfasern enthalten“, gibt es nach dem Stande der modernen histologischen Wissenschaft ja wohl überhaupt kaum, zum mindesten können aber etwaige, derzeit noch aufrecht gehaltene negative Befunde nach den bisherigen Erfahrungen nicht als beweisend gelten.

Dagegen reihen sich dem an dritter Stelle erwähnten Einwand von Engelmann gegen die neurogene Annahme, die automatische Bildung der Herzreize und die Weiterleitung derselben finde im intramuskulären Nervennetz statt, noch eine Reihe anderer an, von denen die wichtigsten im folgenden besprochen werden sollen.

Schon Engelmann (1903) selbst hat darauf aufmerksam gemacht, daß die wirksamen Herzreize nicht typische Nerven-, sondern vielmehr Muskelreize darstellen, wie dies auch bereits von Langendorff (1902) hervorgehoben wurde. So wird z. B. die isolierte Herzspitze durch Substanzen zum Schlagen veranlaßt, die am Nervmuskelpräparat den Nerven nicht erregen (Ammoniak, Kalkwasser, verdünnte Mineralsäuren), während Glyzerin, das Nerven stark reizt, am Herzen unwirksam ist. Es ließe sich freilich auch dagegen sagen, daß sich ja ein Nervennetz, das funktionell als Automatiebildungsstätte so sehr von den gewöhnlichen unterschieden ist, auch in dieser Hinsicht verschieden verhalten könnte, wenn dies allerdings auch sehr wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat. Wenn aber durch die genannten Reize direkt die Muskelzellen und nicht die Nervengeflechte erregt werden, dann muß wohl auch, wie F. B. Hofmann (1909) betonte, die Erregungsfortleitung auf muskulären und nicht auf nervösen Bahnen stattfinden, da man einen Übergang von Erregungen vom Muskel auf den Nerven nicht kennt.

Ferner war schon von Engelmann (1894) die von ihm gefundene langsame Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Herzreize als Hauptargument für die myogene Reizleitung und als direkter Beweis gegen die neurogene Auffassung in Anspruch genommen worden. Es muß aber hier, wie schon Nicolai (1910) bemerkt hat, wohl nicht so sehr der absolute Wert ins Gewicht fallen, nachdem am marklosen Nerven durch

seine Untersuchungen (1901) entsprechend niedrige Größen für die Erregungsleitung bekannt geworden sind. Daß vielmehr hier vor allem die Tatsache der Leitungsverzögerung an der Vorhof-Kammergrenze in Betracht kommen dürfte, soll an anderer Stelle näher ausgeführt werden.

Auf weitere Schwierigkeiten, die der Annahme einer Reizbildung und Reizleitung im intramuskulären Nervennetz entgegenstehen, hat besonders F. B. Hofmann (1909) hingewiesen. Es ist hier vor allem die Tatsache zu nennen, daß es nicht möglich ist, durch künstliche Reizung der Nervenstämmchen (Koronarnerv bei der Schildkröte, Scheidewandnerven beim Frosch) motorische Wirkungen zu erzielen.[1]) Man könnte zwar, wie F. B. Hofmann ausführte, die Annahme machen, daß sich die feinen marklosen Nerven im Myokard in ihren Eigenschaften von den Fasern der Nervenstämmchen unterscheiden. Es liegen jedoch an und in den intrakardialen Nervenstämmchen die Ganglienzellen, aus deren Achsenzylinderfortsätzen sich das intramuskuläre Nervengeflecht bildet. Bei der Reizung der Nervenstämmchen werden daher jene mitgereizt, ohne daß, wie schon erwähnt, motorische Effekte auftreten.

Ferner gehört hierher die Unabhängigkeit der motorischen Erregungsleitung von der Leitung der Hemmungswirkung im Herzen: Letztere wird bereits durch mäßige Quetschung der Herzwand aufgehoben, während die erstere dadurch noch nicht geschädigt erscheint. Dies weist, was auch schon von Heinz (1905) erwähnt wurde, darauf hin, daß die beiden genannten Funktionen an verschiedene anatomische Substrate gebunden sind. So zieht auch F. B. Hofmann die Schlußfolgerung, daß man zwei getrennte Nervennetze annehmen müßte, ein kontinuierliches, über den ganzen Herzmuskel ausgebreitetes für die motorische Leitung und ein diskontinuierliches, für Vorhöfe und Ventrikel gesondertes der Hemmungsfasern, welche Annahme jedoch wohl recht unwahrscheinlich erscheint. Weiter müßten nach F. B. Hofmann die Tatsachen des Einflusses der Hemmungsnerven auf das Leitungsvermögen im Falle der Leitung durch ein Nervennetz zu der Annahme führen, daß die Hemmungsnerven irgendwie an den

---

[1]) Am Säugetier hat allerdings H. E. Hering (1906) erwiesen, daß Akzeleransreizung das stillstehende Herz zum schlagen bringen kann, und später hat Polumordwinow (1911) gezeigt, daß sich durch faradische Reizungen des Vagosympathicus am isolierten schlaglosen Froschventrikel eine automatische Pulsation hervorrufen läßt. Diese Befunde vermögen aber doch nicht zu entscheiden, ob die Reizbildung im Herzen neurogen oder myogen erfolgt, wie dies neuerdings auch F. B. Hofmann (1917) betont hat. Siehe auch die Ausführungen von H. E. Hering (1911).

marklosen Nerven des für die Leitung bestimmten Netzes endigten, wofür histologisch keinerlei Anhaltspunkte oder Analogien bestehen. Und dasselbe würde ja in gleicher Weise auch für die Förderungsnerven gelten müssen.

Endlich liegt in der Tatsache der verzögerten Erregungsleitung an der A. V.-Grenze ein schwerwiegendes Moment vor, das der Annahme der Reizleitung durch das intramuskuläre Nervennetz entgegensteht. Man wäre, wie F. B. Hofmann bemerkte, zu der Annahme genötigt, daß das die Verbindungsmuskulatur umspinnende Nervennetz die Herzreize bedeutend langsamer leite, als das damit einheitlich zusammenhängende Nervennetz der Vorhöfe und der Kammer. Zwischen beiden besteht jedoch keinerlei Unterschied hinsichtlich ihrer histologischen Anordnung und ihrer Entwicklung, so daß diese Hilfshypothese jeder Stütze entbehren müßte.

Ganz Analoges gilt nun auch für die automatische Reizbildung im A. V.-Trichter[1]), wie sie in so mannigfacher Form zur Beobachtung gekommen ist. Würde dieselbe in dem Nervennetz der Verbindungsmuskulatur ihren Sitz haben, dann müßte man doch erwarten, daß sich dieses gegenüber dem übrigen Nervennetz der Herzmuskulatur, von dem es sich funktionell so sehr unterscheiden würde, auch in histologischer Hinsicht irgendwie besonders verhalte.[2]) Denn sonst wäre es unverständlich, warum nicht auch das Nervennetz der Vorhofs- und Kammermuskulatur dieselbe Fähigkeit zu automatischer Reizbildung besitzt. Da nun, wie schon erwähnt, ein solcher histologischer Unterschied nicht besteht, erscheint die Annahme, im A. V.-Trichter wäre das Nervennetz der Ort der automatischen Reizbildung, wie für den Sinusabschnitt so auch hier als unbegründet und nicht berechtigt.

Demnach dürfte sich also doch der myogene Ursprung sowohl der normalen Sinuserregungen als auch der automatischen Reize, die im a. v. Verbindungssystem entstehen, als so gut wie sicher erweisen. So zeigt sich die Forderung, die

---

[1]) Die biologische Bedeutung derselben dürfte wohl auch beim Kaltblüterherzen wenigstens zum Teil darin erblickt werden, daß die Trichterautomatie unter Umständen dann aus ihrer Latenz spontan heraus- und gleichsam als Reserve eintritt, wenn aus irgendeinem Grunde die normale Reizbildung im Sinusgebiet versagt, so daß dennoch die Herztätigkeit, wenn auch in veränderter Weise, aufrecht erhalten bleibt. Beim Herzen der Säuger und des Menschen ist allerdings die analoge Schutzeinrichtung bei weitem stärker ausgebildet, wie dies experimentell bezw. klinisch nachgewiesen werden konnte.

[2]) Dieselbe Forderung müßte man auch an das Nervennetz im Bereiche des Sinus venosus stellen.

hinsichtlich der morphologischen Verschiedenheit an das anatomische Substrat der Reizbildungsstätten gegenüber den anderen, nicht in gleicher Weise mit Automatie begabten Herzabschnitten gestellt werden muß, als erfüllt, während ihr im ersteren Fall nicht Genüge geleistet wird. Denn die a. v. Verbindungsmuskulatur erweist sich doch stets wie die des Sinus als etwas vom übrigen Herzmuskel Verschiedenes, Differenziertes. In histologischer Hinsicht hatte bereits Gaskell für das Schildkrötenherz den mehr embryonaleren Charakter der Trichtermuskulatur festgestellt[1]), wie dies in gleicher Weise für das Fischherz von Keith und Flack gefunden wurde. Für das Froschherz lautet allerdings eine Anzahl von Stimmen (Bräunig, Keith, Flack und Mackenzie) diesbezüglich negativ, so daß man hier eventuell nicht unbedingt von „spezifischer" Muskulatur sprechen kann (s. anatom. Teil!). Aber trotzdem stellt sich die muskulöse Vorhof-Kammerverbindung auch an diesem Herzen als ein spezieller Organabschnitt dar, der von der übrigen Muskulatur merklich unterschieden ist. Und dasselbe gilt doch auch für das Vogelherz, in dem nach den Untersuchungen von Keith, Flack und besonders von Mackenzie die a. v. Verbindungsmuskulatur nicht als spezifische bezeichnet werden kann, in auffallendem Gegensatz zum Säugerherzen, dessen Hissches Bündel sich durch seine spezifische Muskulatur vom übrigen Herzmuskel so deutlich unterscheidet.

Schließlich soll hier noch daran erinnert werden, daß die zuerst für den A. V.-Trichter des Froschherzens von mir erhobenen Befunde einer höheren Erregbarkeit, Erregbarkeitssteigerung und Summationsfähigkeit doch auch entschieden für eine funktionelle Sonderstellung der a. v. Verbindungsmuskulatur sprechen. Gerade am Kaltblüterherzen könnte aber auch, wie es mir scheinen will, vielleicht die künftige Forschung die sichere Entscheidung der Frage, ob Reizbildung und Reizleitung an muskuläre oder nervöse Elemente (d. h. intramuskuläres Nervennetz) gebunden sind, endgültig erbringen: Als Beweis für die Richtigkeit der myogenen Anschauung ist ja unter anderem auch angegeben worden, daß an der nach Bernstein (1876) abgequetschten Froschherzspitze laut Untersuchungen von Bowditch (1878), Aubert (1881) und Langendorff (1902) selbst nach Wochen und Monaten noch Erregbarkeit und Reizleitung besteht, wenn wohl alle Nervenfasern bereits degeneriert sind. Läßt sich nun dies tatsächlich mit Hilfe der modernen histologischen Untersuchungsmethoden einwandfrei bestätigen, dann wäre wohl der Beweis der muskulären Erregungsleitung zweifellos geliefert; für diese

[1]) In dieser Hinsicht ähnelt dieselbe mehr der Muskulatur des Sinusgebietes.

sind ja seit den Feststellungen von v. Ebner (1900), Hoyer (1901), Godlewski (1901) und Heidenhain (1901), daß die Muskelfibrillen benachbarter Zellen direkt ineinander übergehen und somit die Herzmuskelsubstanz gewissermaßen ein großes, einheitliches Syncytium darstellt, jegliche anatomische Bedenken in Wegfall gekommen.

Die hier angedeuteten Untersuchungen hätten sich aber auch auf die unteren Kammeranteile von Fisch- und Schildkrötenherzen zu erstrecken, die nach den Beobachtungen von Mc William (1885) bzw. Gaskell (1883) auch nach Abtrennung oder Abschnürung von der Ventrikelbasis regelmäßig weiter schlagen, also ebenfalls mit eigener Automatie begabt sein sollen.[1]) Es sei jedoch noch hier bemerkt, daß diese Versuche im Falle ihres positiven Ausfalles, d. h. wenn sie zeigen, daß sämtliche marklose Nervenfasern degeneriert sind, zwar zugunsten der myogenen Anschauung gewertet werden müßten, bei negativem Ergebnis — wenn also auch nach Wochen und Monaten noch keine allgemeine Degeneration der Nervenfasern nachweisbar wäre — begreiflicherweise nicht als Gegenbeweis gelten können. Ein solches negatives Resultat erscheint ja immerhin nicht ausgeschlossen, wenn sich in der Tat an der Herzspitze entgegen der bisherigen allgemeinen Ansicht zahlreiche Ganglienzellen vorfinden, wie dies Bethe (1896 und 1903) für das Froschherz[2]) und Carlson (1905) für das Salamanderherz angegeben haben. Diese Ganglienzellen könnten ja dann als trophische Zentren einer Degeneration der Nervenfasern an der abgequetschten Herzspitze vorbeugen. Auf keinen Fall aber könnten sie als Ort einer automatischen Reizerzeugung angesehen werden, da ja der ganglionäre Ursprung von Herzreizen für das Wirbeltierherz wohl endgültig außer Betracht steht und nur, wie früher ausführlich dargelegt wurde, die letzte Entscheidung zu treffen ist, ob die automatische Reizbildung und damit auch die Reizleitung in bestimmten muskulären Elementen

---

[1]) Nach Gaskell beginnt aber die abgetrennte Spitze des Schildkrötenventrikels in der feuchten Kammer erst nach geraumer Zeit (etwa 3 Stunden) zu pulsieren, so daß es sich dabei wohl um die Wirkung eines Zersetzungsreizes handeln kann. Nach eigenen, noch unveröffentlichten Versuchen können allerdings an der Kammerspitze des Schildkrötenherzens vereinzelte, anscheinend spontane Kontraktionen auch bereits früher auftreten, im allgemeinen geht aber auch beim Schildkrötenventrikel die Automatie schon nach Abtrennung der oberen Basisanteile verloren.

[2]) Nach F. B. Hofmann (1907 und 1910) liegt hier jedoch eine Verwechslung mit den Kernen der Nervenscheiden vor, wie er dies auch jüngst (1917) ausdrücklich wieder hervorhob; an den feineren Nervenästen und im Grundplexus der unteren zwei Kammerdrittel des Froschherzens sollen zwar noch einige, ganz wenige Ganglienzellen vorhanden sein, im intramuskulären Nervennetz fehlen sie jedoch vollkommen.

oder im Nervengeflecht des Herzens statthat. Denn daß diese beiden Funktionen an dasselbe anatomische Substrat gebunden sind, dürfte wohl von keiner Seite — weder von Neurogenikern noch von Myogenikern — in Zweifel gezogen werden. Würde es sich schließlich erweisen, daß die Bildung der Herzreize doch im intramuskulären Nervengeflecht erfolgt, dann wäre wohl auch damit entschieden, daß gleichfalls die Fortleitung dieser Erregungen innerhalb des Nervenplexus zustande kommt. Denn ein ,,Überspringen" der im Nervengeflecht gebildeten Reize zwecks ihrer Weiterleitung auf die Muskelzellen wäre eine sehr gezwungene und unwahrscheinliche Annahme. Findet dagegen die automatische Reizbildung in der muskulösen Substanz bestimmter Herzpartien (Sinusgebiet bzw. A. V.-Trichter) statt, dann erscheint auch ohne weiteres die muskuläre Fortleitung als das Nächstliegende; die Annahme einer Übertragung der muskulär entstandenen Erregungen an nervöse Leitungselemente, die sie dann wieder an das Erfolgsorgan muskulöser Natur abzugeben hätten, wäre von vornherein recht gekünstelt und würde allen allgemein biologischen Anschauungen widerstreben.

Daß sich nach dem Stande der jetzigen Kenntnisse und Erfahrungen in dem Streite zwischen der neurogenen und myogenen Theorie der Herztätigkeit die Wagschale doch mehr auf die Seite letzterer neigt, dürfte aus dem Vorliegenden zur Genüge hervorgehen. Endlich wäre es aber auch möglich, daß in eingeschränktem Sinne beide Lehren nebeneinander zu Recht bestehen, insofern es immerhin nicht ausgeschlossen ist, daß, wie zuerst H. E. Hering (1905) gemeint und später v. Tschermak (1909) näher ausgeführt hat, das Herznervensystem außer seiner zahlreichen regulatorischen Funktionen die Eigenschaften der Herzmuskulatur ,,in charakteristischer Weise dauernd neurotonisch" beeinflußt — eine Auffasung, für die manche Beobachtungen zu sprechen scheinen. Damit könnte dann gewissermaßen ein versöhnender Ausgleich zwischen den beiden miteinander streitenden Lehren vom Wesen der Herztätigkeit geschaffen sein.

Vielleicht ließe sich aber doch eine sichere Entscheidung auf dem früher angegebenen Wege erbringen, so daß sich, wie schon so oft, das Experiment am Kaltblüter der physiologischen Forschung als besonders nutzbringend und ausschlaggebend erweisen würde, nachdem es gerade in der Herzphysiologie bereits von so grundlegender Bedeutung geworden ist.

Literaturverzeichnis.

1844. A. W. Volkmann, Nachweisung der Nervencentra, von welchen die Bewegung der Lymph- und Blutgefäßherzen ausgeht. Müllers *Archiv.* 1844. S. 419.

1850. M. Schiff, Der Modus der Herzbewegung. *Arch. f. physiolog. Heilkunde.* Jahrg. 11. S. 68.

1852. Stannius, Zwei Reihen physiologischer Versuche. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1852. S. 85.

1852. F. Bidder, Über funktionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1852. S. 163.

1858. C. Eckhardt, Ein Beitrag zur Theorie der Ursachen der Herzbewegung. Seine *Beitr. zur Anat. u. Physiol.* Bd. I. S. 145.

1860. C. E. Hoffmann, *Beiträge zur Anatomie und Physiologie des N. vagus bei den Fischen.* Gießen 1860.

1866. E. Cyon, Über den Einfluß der Temperaturänderungen auf Zahl, Dauer und Stärke der Herzschläge. *Ber. d. Leipz. Akad.* Bd. XVIII. S. 257.

1867. C. Friedländer, *Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium in Würzburg.* Heft 2. S. 171.

1869. Th. W. Engelmann, Zur Pysiologie des Ureter. Pflügers *Archiv.* Bd. II. S. 243.

1872. F. Goltz, Studien über die Bewegungen der Speiseröhre und des Magens des Frosches. *Ebenda.* Bd. VI. S. 616.

1876. G. Paladino, *Contributione all' anatomia, istologia e fisiologia del cuore.* Napoli.

1876. L. Gerlach, Über die Nervenendigungen in der Muskulatur des Froschherzens. Virchows *Archiv.* Bd. LXVI. S. 187.

1876. J. Bernstein, Über den Sitz der automatischen Erregung im Froschherzen. *Centralbl. f. d. med. Wiss.* 1876. S. 385.

1878. H. Munk, Zur Mechanik der Herztätigkeit. Verhandlungen der physiolog. Gesellschaft zu Berlin. Sitzung am 25. Febr. 1876. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1878. S. 569.

1878 R. Marchand, Versuche über das Verhalten von Nervenzentren gegen äußere Reize. Pflügers *Archiv.* Bd. XVIII. S. 511.

1878. H. P. Bowditch, Does the apex of the heart contract automatically? *Journ. of Physiol.* Vol. I. p. 104.

1879. A. Aristow, Einfluß plötzlichen Temperaturwechsels auf das Herz. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1879. S. 198.

1879. v. Basch, Üder die Summation von Reizen durch das Herz. *Sitzungsber. der math.-naturwiss. Klasse d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien.* Bd. LXXIX. Abt. III. S. 37.

1880. Derselbe, Über die Erhöhung der Erregbarkeit des Herzens durch wiederholte elektrische Reize. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1880. S. 283.

1880. W. Biedermann, Über rhythmische, durch chemische Reizung bedingte Kontraktionen quergestreifter Muskeln. *Sitzungsber. d. k. Akad. z. Wien.* Bd. LXXXII. Abt. 3. S. 257.

1880. M. Loewit, Beiträge zur Kenntnis der Innervation des Froschherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. XXIII. S. 313.

1880. L. Ranvier, Appareils nerveux terminaux des muscles de la vie organique. *Leçons d'anat. générale.* Paris, Baillière.

1881. H. Aubert, Untersuchungen über die Irritabilität und Rhythmizität des nervenhaltigen und nervenlosen Froschherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. XXIV. S. 357.

1882. E. Hering, Über Nervenreizung durch den Nervenstrom. *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. zu Wien.* Bd. LXXXV. 3. Abt. S. 237.

1882. Ph. Knoll, Beiträge zur Lehre von der Atmungsinnervation. 1. *Mitteilung. Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. zu Wien.* Bd. LXXXV. 3. Abt. S. 282.

1883. W. Gaskell, On the innervation of the heart, with especial reference to the heart of the tortoise. *Journ. of Physiol.* Vol IV. p. 43.

1883. M. v. Frey, Über die tetanische Erregung von Froschnerven durch den konstanten Strom. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1883. S. 43.

1884. O. Langendorff, Studien über Rhythmik und Automatie des Froschherzens. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1884. Suppl.-Bd. S. 1.

1884. H. Kronecker und F. Schmey, Das Koordinationszentrum der Herzkammerbewegungen. *Sitzungsber. d. k. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin* S. 87.

1885. I. A. Mc William, On the structure and rhythm of the heart in fishes, with especial reference to the heart of the eel. *Journ. of Physiol.* Vol. VI. p. 192.

1888. Derselbe, On the phenomena of inhibition in the mammalian heart. *Journ. of Physiol.* Vol IX. p. 369.

1888. R. Tigerstedt und C. A. Strömberg, *Mitt. a. d. physiolog. Laborat. d. Carolin. Inst. in Stockholm.* Heft 5. S. 17.

1888. Dieselben, Der Venensinus des Froschherzens, physiologisch untersucht. *Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar.* Bd. XIII. Afd. IV. Nr. 8. Stockholm.

1892. Roy and Adamy, Contributions to the Physiol. and Pathol. of the mammalian heart. *Philos. Transact.* Vol. CLXXXIII. p. 232.

1892. K. Kaiser, Untersuchungen über die Ursache der Rhythmizität der Herzbewegungen. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXIX. S. 203.

1893. W. His jun., Die Tätigkeit des embryonalen Herzens und seine Bedeutung für die Lehre der Herzbewegung beim Erwachsenen. *Arbeiten a. d. med. Klin. Leipzig.*

1893. St. Kent, Researches on the structure and function of the mammalian heart. *Journ. of Physiol.* Vol. XIV. p. 233.

1894. K. Kaiser, Untersuchungen über die Ursache der Rhythmizität der Herzbewegungen. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXX. S. 279.

1894. Th. W. Engelmann, Beobachtungen und Versuche am suspendierten Herzen. Zweite Abhandlung. Über die Leitung der Bewegungsreize im Herzen. Pflügers *Archiv.* Bd. LVI. S. 149.

1894. Ph. Knoll, Graphische Versuche an den vier Abteilungen des Säugetierherzens. *Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissensch.* Bd. CIII. S. 298.

1895. Th. W. Engelmann, Beobachtungen und Versuche am suspendierten Herzen. Dritte Abhandlung. Refraktäre Phase und kompensatorische Ruhe in ihrer Bedeutung für den Herzrhythmus. Pflügers *Archiv.* Bd. LIX. S. 309.

1895. F. B. Hofmann, Über die Funktion der Scheidewandnerven des Froschherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. LX. S. 139.

1895. Heymans und Demoor, Etude de l'innervation du coeur des vertébrés à l'aide de la méthode de Golgi. *Mém. de l'Acad. de Belg.* T. XIII.

1895. O. Langendorff, Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen. Pflügers *Archiv.* Bd. LXI. S. 291.

1896. H. Kronecker, Über Störungen der Koordination des Herzkammerschlages. *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXIV. S. 529.

1896. A. Bethe, Eine neue Methode der Methylenblaufixation. *Anatomischer Anzeiger.* Bd. XII. S. 438.

1897. O. Langendorff, Untersuchungen am überlebenden Säugetierherzen. 2. Abhandlung. Über den Einfluß von Wärme und Kälte auf das Herz der warmblütigen Tiere. Pflügers *Archiv.* Bd. LXVI. S. 355.

1897. Ph. Knoll, Über die Wirkung des Herzvagus bei Warmblütern. Pflügers *Archiv.* Bd. LXVII. S. 587.

1897. H. Kronecker, Über Störungen der Koordination des Herzkammerschlages. *Verhandl. d. 15. Kongresses f. innere Medizin zu Berlin.* Wiesbaden. S. 524.

1897. Th. W. Engelmann, Über den Ursprung der Herzbewegungen und die physiologischen Eigenschaften der großen Herzvenen des Frosches. Pflügers *Archiv.* Bd. LXV. S. 109.

1897. Derselbe, Über den myogenen Ursprung der Herztätigkeit und über automatische Erregbarkeit als normale Eigenschaft peripherischer Nervenfasern. Pflügers *Archiv.* Bd. LXV. S. 535.

1898. O. Langendorff, Über das Wogen oder Flimmern des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. LXX. S. 281.

1898. F. B. Hofmann, Beiträge zur Lehre von der Herzinnervation. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXII. S. 409.

1898. Bätke, Über das Flimmern des Kaltblüterherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXI. S. 412.

1899. O. Frank, Gibt es einen echten Herztetanus? *Zeitschr. f. Biol.* Bd. XXXVIII. S. 300.

1899. A. Walther, Zur Lehre vom Tetanus des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXVIII. S. 597.

1900. W. Gaskell, The contraction of cardiac muscle. In „*Textbook of Physiology*“ herausgegeben v. Schäfer. Vol. II. p. 173. Edinbourg und London.

1900. Th. W. Engelmann, Über die Wirkungen der Nerven auf das Herz. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1900. S. 315.

1900. H. E. Hering, Zur experimentellen Analyse der Unregelmäßigkeiten des Herzschlages. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXXII. S. 1.

1900. v. Ebner, Über die „Kittlinien“ der Herzmuskelfasern. *Sitzungsber. d. Wien. Akad. d. Wiss.* Bd. CIX. 3. Abt. S. 700.

1901. H. E. Hering, Die myoerethischen Unregelmäßigkeiten des Herzens. *Prag. med. Wochenschrift.* Bd. XXVI. Nr. 1—2.

1901. Derselbe, Über die gegenseitige Abhängigkeit der Reizbarkeit, der Kontraktilität und des Leitungsvermögens der Herzmuskelfasern und ihre Bedeutung für die Theorie der Herztätigkeit und ihrer Störungen. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXXVI. S. 533.
1901. G. Fr. Nicolai, Über die Leitungsgeschwindigkeit im Riechnerven des Hechtes. Pflügers *Archiv.* Bd. LXXXV. S. 65.
1901. M. H. Hoyer, Über die Kontinuität der kontraktilen Fibrillen in den Herzmuskelzellen. *Acad. des Sciences de Cracovice.*
1901. E. Godlewski, Über die Entwicklung des quergestreiften muskulösen Gewebes. *Acad. des Sciences de Cracovice.*
1901. M. Heidenhain, Die Struktur des menschlichen Herzmuskels. *Anatom. Anzeiger.* Bd. XX. S. 33.
1902. F. B. Hofmann, Das intrakardiale Nervensystem des Frosches. *Archiv für Anatomie* von His. 1902. S. 54.
1902. W. Ewald, Ein Beitrag zur Lehre von der Erregungsleitung zwischen Vorhof und Ventrikel des Froschherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. XCI. S. 21.
1902. O. Langendorff, Herzmuskel und intrakardiale Innervation. *Ergebnisse der Physiologie,* herausgegeb. von Asher u. Spiro. 1. Jahrgang. 2. Abtl. S. 262.
1902. E. v. Cyon, Myogen oder Neurogen? Pflügers *Archiv.* Bd. LXXXVIII. S. 225.
1903. Th. W. Engelmann, Der Versuch von Stannius, seine Folgen und deren Deutung. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1903. S. 505.
1903. Derselbe, Myogene Theorie und Innervation des Herzens. *Die Deutsche Klinik am Eingange des zwanzigsten Jahrhunderts.* Bd. IV. S. 215.
1903. A. Greil, Beiträge zur vergleichenden Anatomie und Entwicklungsgeschichte des Herzens und des Truncus arteriosus der Wirbeltiere. *Morphol. Jahrb.* Bd. XXXI. S. 123.
1903. H. E. Hering, Über die Wirksamkeit des Akzelerans auf die von den Vorhöfen abgetrennten Kammern isolierter Säugetierherzen. *Centralblatt f. Physiol.* Bd. XXVII. S. 1.
1903. A. Bethe, *Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems.* Leipzig, Thieme.
1904. R. Retzer, Über die muskulöse Verbindung zwischen Vorhof und Ventrikel des Säugetierherzens. *Arch. f. Anat.* (*u. Physiol.*) 1904. S. 1.
1904. K. Bräunig, Über muskulöse Verbindungen zwischen Vorkammer und Kammer bei verschiedenen Wirbeltierherzen. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1904. Suppl.-Bd. S. 1.
1904. K. Brandenburg, Über die Eigenschaft des Digitalin, beim Froschherzen die selbständige Erzeugung von Bewegungsreizen an der Grenze von Vorhöfen und Kammer anzuregen. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1904. Supplementband. S. 213.
1904. A. Lohmann, Zur Automatie der Brückenfasern und der Ventrikel des Herzens. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1904. S. 431.
1904. Derselbe, Zur Automatie der Brückenfasern des Herzens. 2. Mitteilung. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1904. Supplementband. S. 265.
1904. H. Kronecker und E. Spallitta, Die Leitung der Vagushemmung durch den flimmernden Vorhof beim Hund. *Centralbl. f. Physiol.* Bd. XVIII.

S. 835. (Verhandlungen des 6. internationalen Physiologenkongresses zu Brüssel.)

1904. F. B. Hofmann, Die neurogene und myogene Theorie der Herztätigkeit und die Funktion der inneren Herznerven. Schmidts *Jahrbücher der Medizin.* Bd. CCLXXXI. S. 120.

1904. A. J. Carlson, The nervous origin of the heart beat in Limulus and the nervous nature of coordination and conduction in the heart. *Amer. Journn. of. Physiol.* Vol. XII. p. 67.

1904. M. Humblet, Le faisceau musculaire interauriculo-ventriculaire, lien physiologique entre les oreillettes et les ventricules du coeur. *Bull. Acad. de Belgique classe de Sciences.* 1904. No. 6. p. 802.

1905. H. E. Hering, Der Accelerans cordis beschleunigt die unabhängig von den Vorhöfen schlagenden Kammern des Säugetierherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CVII. S. 125.

1905. Derselbe, Über die unmittelbare Wirkung des Akzelerans und Vagus auf automatisch schlagende Abschnitte des Säugetierherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CVIII. S. 281.

1905. Derselbe, Einiges über die Ursprungsreize des Säugetierherzens und ihre Beziehung zum Accelerans. *Centralbl. f. Physiol.* Bd. XIX. S. 129.

1905. M. v. Vintschgau, Wirkung der Wärme auf das Froschherz nach Anlegung linearer Quer- und Längsquetschungen. Pflügers *Archiv.* Bd. CX. S. 255.

1905. A. J. Carlson, Further evidence of the nervous origin of the heart beat in Limulus. *Amer. Journ. of Physiol.* Vol. XII. p. 471.

1905. Derselbe, Die Ganglienzellen des Bulbus arteriosus und der Kammerspitze beim Salamander (Necturus maculatus). Pflügers *Archiv.* Bd. CIX. S. 51.

1905. R. Heinz, Neurogene und myogene Theorie der Herztätigkeit. In seinem *Handbuch der experimentellen Pathologie und Pharmakologie.* Bd. I. 2. Hälfte. Fischer, Jena.

1906. S. Tawara, *Das Reizleitungssystem des Säugetierherzens. Eine anatomisch-histologische Studie über das Atrioventrikularbündel und die Purkinjeschen Fäden.* Mit einem Vorwort von L. Aschoff (Marburg). Fischer, Jena.

1906. Derselbe, Über die sogenannten abnormen Sehnenfäden des Herzens. Ein Beitrag zur Pathologie des Reizleitungssystemes des Herzens. *Beiträge zur patholog. Anat. u. zur allgem. Pathologie.* Begründet von E. Ziegler. Bd. XXXIX. Jena.

1906. A. Keith, *The auriculo-ventricular bundle of His.* Lancet. Vol. CLXX. p. 623.

1906. M. Flack, *The auriculo-ventricular bundle of the human heart.* Lancet. Vol. CLXXI. p. 359.

1906. J. Gewin, Das Flimmern des Herzens. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1906. Supplementband. S. 247.

1906. J. Dogiel und K. Archangelsky, Der bewegungshemmende und der motorische Nervenapparat des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CXIII. S. 1.

1906. J. Rihl, Über Vaguswirkung auf die automatisch schlagenden Kammern des Säugetierherzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CXIV. S. 545.

1906. H. E. Hering, Die Unregelmäßigkeiten des Herzens. *Verhandlungen des Kongresses für innere Medizin.* 1906. S. 138.

1906. Derselbe, Akzeleransreizung kann das schlaglose Säugetierherz zum automatischen Schlagen bringen. Pflügers *Archiv.* Bd. CXV. S. 354.

1907. F. B. Hofmann, Histologische Untersuchungen über die Innervation der glatten und der ihr verwandten Muskulatur der Wirbeltiere und Mollusken. *Archiv für mikr. Anatomie.* Bd. LXX. S. 361.

1907. J. Dogiel, Einige Daten der Anatomie des Frosch- und Schildkrötenherzens. *Archiv f. mikr. Anat.* Bd. LXX. S. 780.

1907. A. Keith und M. Flack, The form and nature of the muscular connections between the primary divisions of the vertebrate heart. *Journ. of Anat. and Physiol.* Vol. XLI. p. 172.

1907. A. Lohmann, Über den Sitz der automatischen Erregungen im Herzen. Pflügers *Archiv.* Bd. CXX. S. 420.

1907. H. Winterberg, Studien über Herzflimmern. 1. Mitteilung. Über die Wirkung des N. vagus und accelerans auf das Flimmern des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CXVII. S. 223.

1907. Fahr, Über die muskulöse Verbindung zwischen Vorhof und Ventrikel (das Hissche Bündel) im normalen Herzen und beim Adam-Stokesschen Symptomenkomplex. Virchows *Archiv.* Bd. CLXXXVIII.

1908. Derselbe, Zur Frage der atrioventrikularen Muskelverbindung im Herzen. *Verhandlungen der Deutschen pathologischen Gesellschaft in Kiel.* 1908.

1908. R. Retzer, Some resultats of recent investigations on the mammalian heart. *Anatom. Record.* Vol. II. p. 149.

1908. J. S. Mönckeberg, Über die sogenannten abnormen Sehnenfäden im linken Ventrikel des menschlichen Herzens und ihre Beziehungen zum Atrioventrikularbündel. *Verhandlungen der Deutschen pathologischen Gesellschaft in Kiel.* 1908.

1908. Derselbe, Untersuchungen über das Atrioventrikularbündel im menschlichen Herzen. Fischer, Jena. 1908.

1909 L. Aschoff, Über die neueren anatomischen Befunde am Herzen und ihre Beziehungen zur Herzpathologie. *Med. Klinik.* 1909. Nr. 8 und 9.

1909. Imchanitzky, Die nervöse Koordination der Vorhöfe und Kammer des Eidechsenherzens. *Arch. f. Anat.* (*u. Physiol.*). 1909. S. 117.

1909. H. Winterberg, Studien über Herzflimmern. 3. Mitteilung. A. Über das Wesen der postundulatorischen Pause. — B. Über den Einfluß des Flimmerns auf die Kontraktilität des Herzmuskels. Pflügers *Archiv.* Bd. CXXVIII. S. 471.

1909. F. B. Hofmann, Allgemeine Physiologie des Herzens. In Nagels *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Bd. I. S. 240.

1909. A. v. Tschermak, Physiologische Untersuchungen am embryonalen Fischherzen. *Sitzungsber. d. Wiener Akad.*; *math.-naturwiss. Klasse.* Bd. CXVIII. 3. Abtl. S. 17.

1910. A. Keith und J. Mackenzie, *Recent researches on the anatomy of the heart.* Lancet I. p. 101.

1910. C. J. Rothberger und H. Winterberg, Über die Beziehungen der Herznerven zur a. v. Automatie (nodal rhythm). Pflügers *Archiv.* Bd. CXXXV. S. 559.

1910. H. E. Hering, Die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu den spezifischen Muskelsystemen des Herzens. *Verhandlungen der Deutschen pathologischen Gesellschaft.*

1910. A. Samojloff, Weitere Beiträge zur Elektrophysiologie des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CXXXV. S. 417.

1910. J. Mackenzie, Zur Frage des Koordinationssystems im Herzen. *Verhandlungen der Deutschen pathologischen Gesellschaft.*

1910. G. Fr. Nicolai, Die tatsächlichen Grundlagen einer myogenen Theorie des Herzschlages. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1901. S. 1.

1910. L. Orbeli und E. Th. v. Brücke, Beiträge zur Physiologie der autonom innervierten Muskulatur. II. Die Aktionsströme der Uretermuskulatur während des Ablaufes spontaner Wellen. Pflügers *Archiv.* Bd. CXXXIII. S. 341.

1910. F. B. Hofmann, Gibt es in der Muskulatur der Mollusken periphere, kontinuierlich leitende Nervennetze bei Abwesenheit von Ganglienzellen? 2. Mitteilung. Weitere Untersuchungen an den Chromatophoren der Kephalopoden. Innervation der Mantellappen von Aplysia. Pflügers *Archiv.* Bd. CXXXII. S. 43.

1911. M. Holl, Makroskopische Darstellung des atrioventrikularen Verbindungsbündels am menschlichen und tierischen Herzen. *Denkschriften d. math.-naturwiss. Klasse der k. Akademie der Wissenschaften Wien.* Bd. LXXXVII. Desgleichen in *Arch. f. Anat.* (*u. Physiol.*). 1912. S. 62.

1911. Külbs und Lange, Anatomische und experimentelle Untersuchungen über das Reizleitungssystem im Eidechsenherzen. *Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Therap.* Bd. VIII. S. 313.

1911. G. Ganter und A. Zahn, Über Reizbildung und Reizleitung im Säugetierherzen in ihrer Beziehung zum spezifischen Muskelgewebe. *Zentralblatt für Physiologie.* Bd. XXV. S. 782.

1911. K. Brandenburg und P. Hoffmann, Über die Folgen der Abkühlung des Sinusknotens und des Vorhofknotens am isolierten Warmblüterherzen. *Zentralblatt für Physiologie.* Bd. XXV. S. 916.

1911. C. J. Rothberger und H. Winterberg, Über die Beziehungen der Herznerven zur automatischen Reizerzeugung und zum plötzlichen Herztode. Pflügers *Archiv.* Bd. CXLI. S. 343.

1911. H. E. Hering, Zur Erklärung des Auftretens heterotoper Herzschläge unter Vaguseinfluß. *Zeitschr. f. experim. Patholog. u. Therap.* Bd. IX.

1911. F. B. Hofmann und J. Holzinger, Über den Einfluß von Extrasystolen auf die Rhythmik spontan schlagender Herzteile. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LVII. S. 309.

1911. P. Hoffmann, Über Elektrokardiogramme von Evertebraten. Vergleichende Studien über den Herzschlag. *Arch. f.* (*Anat. u.*) *Physiol.* 1911. S. 135.

1911. D. Polumordwinow, Über die motorischen Nerven des Herzens. Pflügers *Archiv.* Bd. CXL. S. 17.

1911. H. E. Hering, Über den experimentellen Nachweis neurogen erzeugter Ursprungsreize beim Säugetierherzen nebst Bemerkungen über die Ursprungsreizbildung. Pflügers *Archiv.* Bd. CXLI. S. 497.

1912. Külbs, Über das Reizleitungssystem bei Amphibien, Reptilien und Vögeln. *Zeitschr. f. experim. Pathol. u. Therap.* Bd. XI. S. 51.

1912. J. Seemann, Über das Elektrokardiogramm bei den Stanniusligaturen. Ein Beitrag zur Deutung der Wirkung ihrer Folgen. *Zeitschrift für Biol.* Bd. LVII. S. 545.

1912. G. Ganter und A. Zahn, Experimentelle Untersuchungen am Säugetierherzen über Reizbildung und Reizleitung in ihrer Beziehung zum spezifischen Muskelgewebe. Pflügers *Archiv.* Bd. CXLV. S. 335.

1912. L. Frédéricq, Dissociation par compression graduée des voies motrices et arrestatrices contenues dans le faisceau de His. *Arch. intern. de Physiol.* T. XI. p. 405.

1912. J. v. Ángyán, Der Einfluß der Vagi auf die automatisch schlagende Kammer (auf den idioventrikulären Rhythmus). Pflügers *Archiv.* Bd. CXLIX. S. 175.

1912. A. E. Cohn und Th. Lewis, Vorhofflimmern und kompletter Herzblock. *Heart.* Bd. IV. S. 15.

1912. A. W. Falconer und G. Dean, Beobachtungen bei einem Fall von Vorhofflimmern mit langsamer Kammeraktion. *Heart.* Bd. IV. S. 87.

1912. A. E. Taussig, Kompletter und dauernder Herzblock nach Digitalisdarreichung bei Vorhofflimmern. *Arch. of int. Med.* Vol. X. p. 335.

1913. Külbs, Das Reizleitungssystem im Herzen. *Handb. d. inneren Med.* Bd. II.

1913. J. Mackenzie, The excitatory and connecting muscular system of the heart. *17. Internat. Med. Kongress.*

1913. Laurens, The atrio-ventricular connection in the Reptiles. *The anatomical Record,* Vol. VII. p. 273.

1913. Derselbe, Die atrioventrikuläre Erregungsleitung im Reptilienherzen und ihre Störungen. Pflügers *Archiv.* Bd. CL. S. 139.

1913. J. Nakano, Zur vergleichenden Physiologie des Hisschen Bündels. 2. Mitteilung. Die atrioventrikuläre Erregungsleitung im Amphibienherzen. Pflügers *Archiv.* Bd. CLIV. S. 373.

1913. Roskam, Quelques observations sur l'origine et la propagation de l'onde de contraction dans le coeur de l'anguille. *Bull. de la Classe des Sciences Acad. roy de Belg.* p. 1110.

1913. L. Haberlandt, Zur Physiologie des Atrioventrikulartrichters des Froschherzens. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXI. S. 1.

1913. G. Ganter und A. Zahn, Über die Beziehungen der Nervi vagi zu Sinusknoten und A. V.-Knoten. Pflügers *Archiv.* Bd. CLIV. S. 492.

1913. A. E. Cohn und J. D. Heard, A case of auricular fibrillation with a post mortem examination. *The archives of int. Medic.* Vol. XI. p. 630.

1913. E. Th. v. Brücke und J. Satake, Beiträge zur Physiologie der autonom innervierten Muskulatur. VI. Über die Aktionsströme des Kaninchenösophagus während des Ablaufes einer Schluckwelle. Pflügers *Archiv.* Bd. CL. S. 208.

1914. E. Mangold, Die Erregungsleitung im Wirbeltierherzen. Ein Vortrag nach vergleichend physiologischen Untersuchungen. *Sammlung anatomischer und physiologischer Vorträge und Aufsätze.* Heft 25. Fischer, Jena.

1914. L. Haberlandt, Zur Physiologie des Atrioventrikulartrichters des Froschherzens. 2. Mitteilung. Über den Einfluß der Herznerven. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXIII. S. 305.

1914. Derselbe, Das Herzflimmern, seine Entstehung und Beziehung zu den Herznerven. *Sammlung anatomischer und physiologischer Vorträge und Aufsätze.* Heft 26. Fischer, Jena.

1914. Derselbe, Über den Einfluß des Vagus auf das Herzwühlen. (Vortrag, 6. Tagung der deutschen physiologischen Gesellschaft zu Berlin.) *Zentralblatt für Physiologie.* Bd. XXVIII. Nr. 12. S. 722.
1914. W. Lange, Die anatomischen Grundlagen für eine myogene Theorie des Herzschlages. *Arch. f. mikroskop. Anat.* Bd. LXXXIV. S. 215.
1915. L. Haberlandt, Zur Physiologie der Atrioventrikularfasern des Kaltblüterherzens. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXV. S. 225.
1916. Derselbe, Zur Entstehung des Herzflimmerns. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXVI. S. 327.
1916. Derselbe, Weitere Beiträge zur Physiologie des Atrioventrikulartrichters des Froschherzens. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXVII. S. 83.
1917. F. B. Hofmann, Zur Kenntnis der Funktion des intrakardialen Nervensystems. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXVII. S. 375.
1917. Derselbe, Die prä- und postganglionären Fasern der regulatorischen Herznerven und die Bedeutung der Herzganglien. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXVII. S. 404.
1917. L. Haberlandt, Fortgesetzte Untersuchungen zur Physiologie der Atrioventrikularverbindung des Kaltblüterherzens. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. LXVII. S. 453.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. I.)

Fig. 1. Sagittalschnitt des Froschherzens. *Tr* A. V.-Trichter, *Vh* Vorhof, *V* Ventrikel, *B* Biddersche Ganglien, *A* hintere A. V.-Klappe. (W. His jun. 1893).

Fig. 2. Frontalschnitt des Froschherzens. (Mikrophotogramm.) *Vh* Vorhof, *Tr* A.V.-Trichter, *V* Ventrikel, *Kl* A. V.-Klappe (rechts abgerissen), *B* Bulbus arteriosus mit Spiralklappe.

Fig. 3. Frontalschnitt des Schildkrötenherzens (Mikrophotogramm nach Külbs, 1912).

Fig. 4. Schema des Fisch- und Amphibienherzens nach Keith und Flack (modifiziert von Mangold); *a* Sinus, *b* Ohrkanal, *c* Vorhof, *d* Ventrikel, *e* Bulbus, 3 A. V.-Ring, 4 A. V.-Trichter.

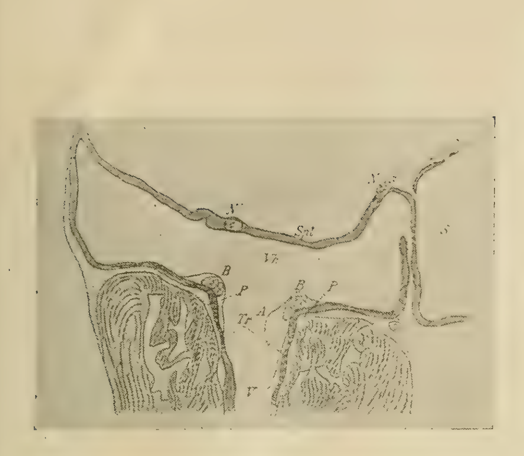


Fig. 1.

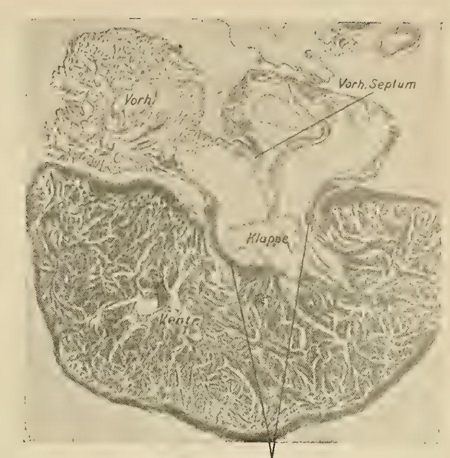


Fig. 3.

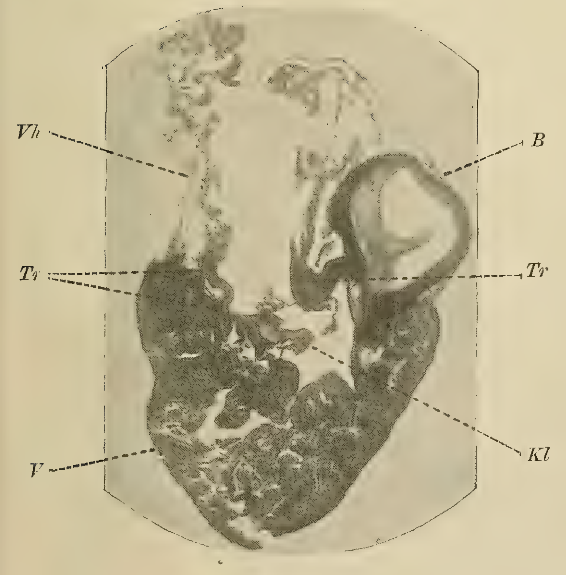


Fig. 2.

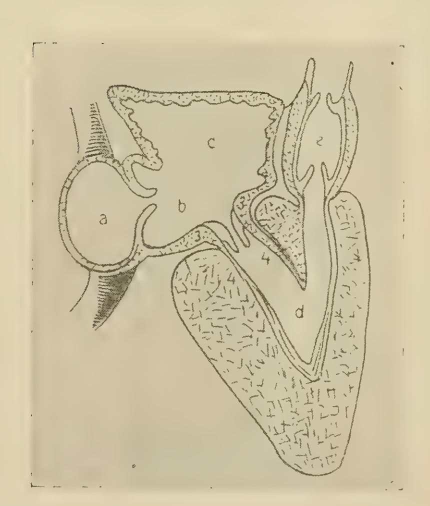
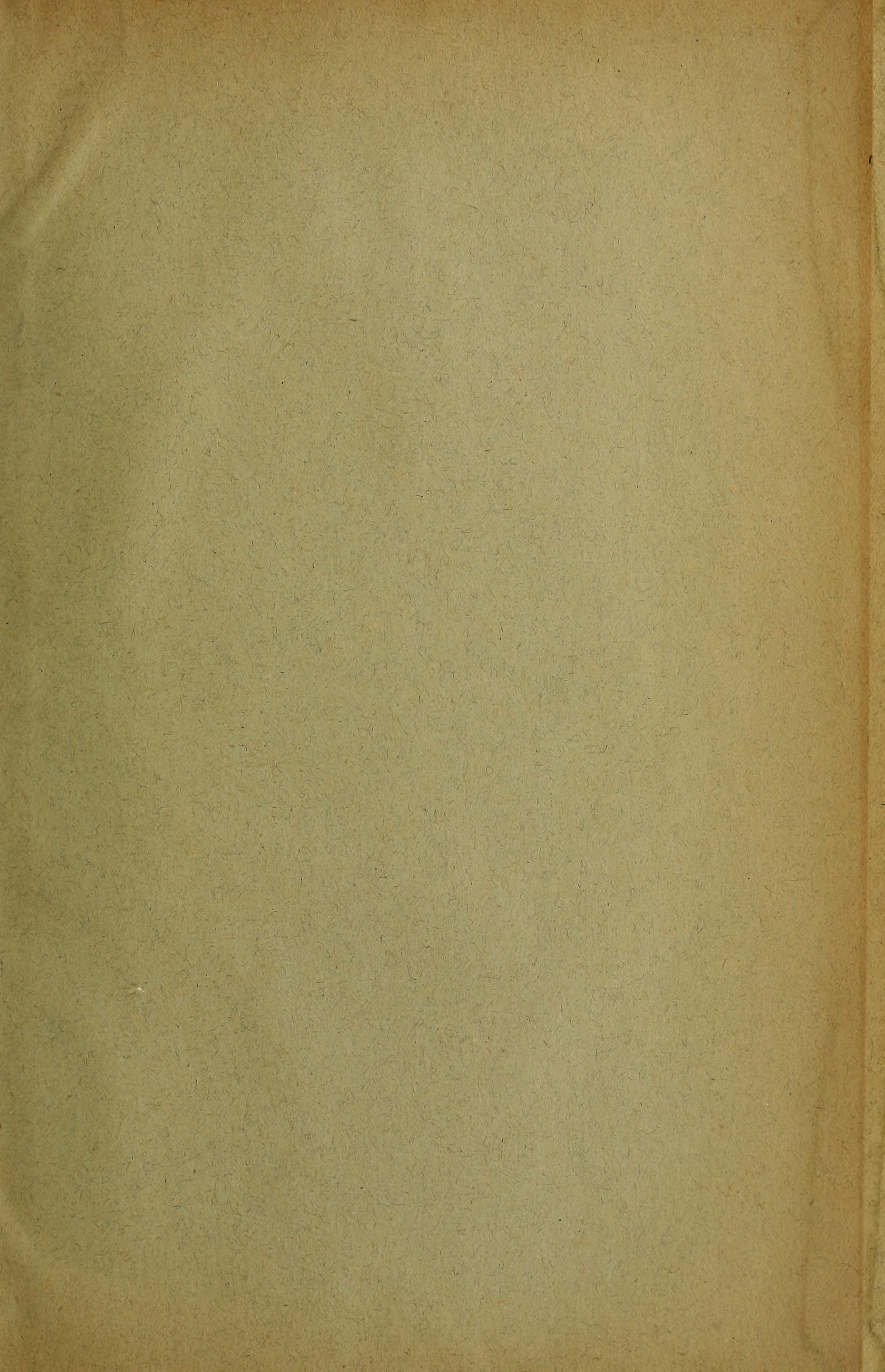


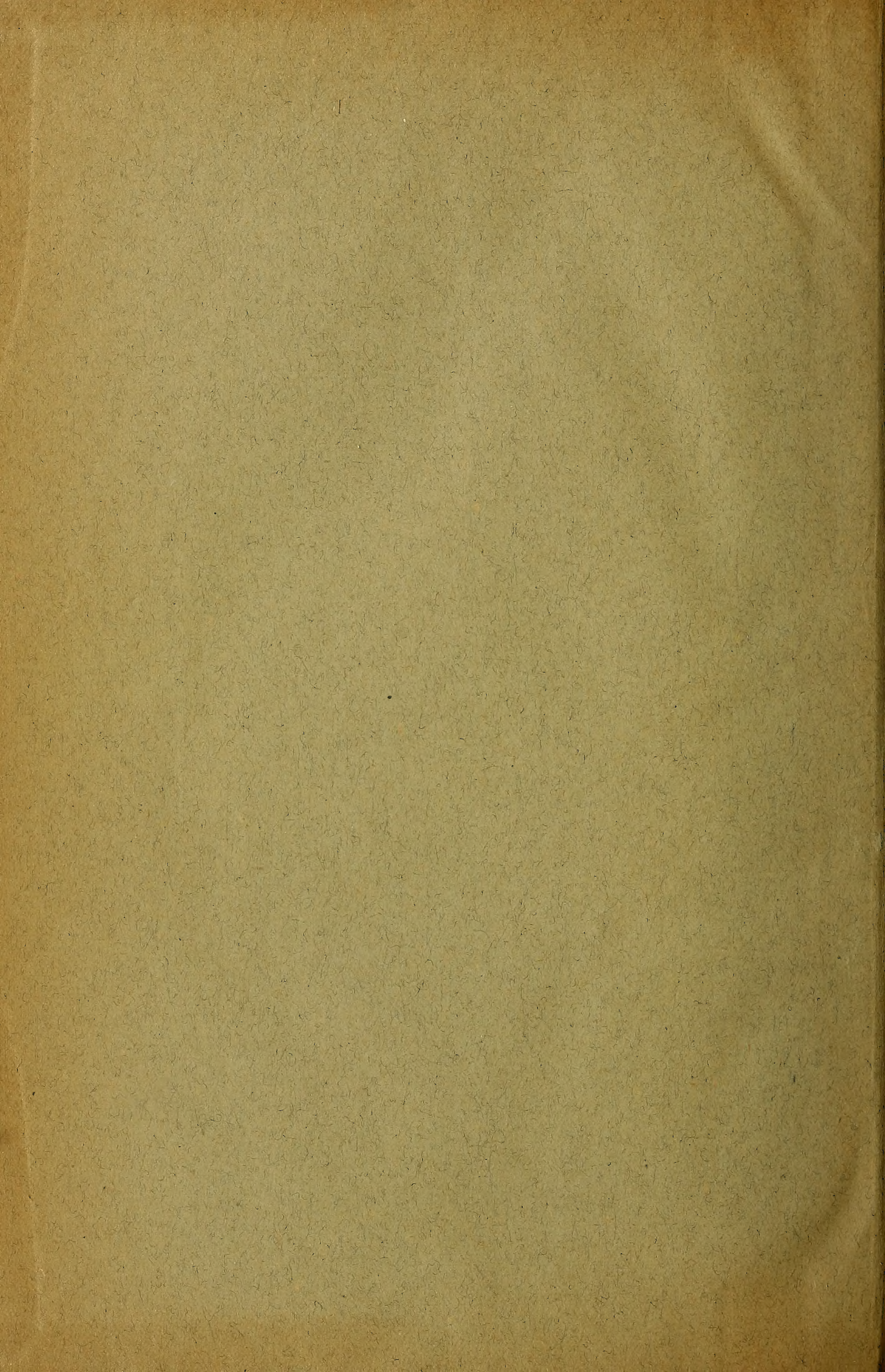
Fig. 4.

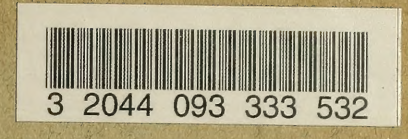
Verlag von VEIT & COMP. in Leipzig.



Metzger & Wittig, Leipzig.






3 2044 093 333 532




OCLC 6028347
SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01470 3763